

**ANALISIS DATA MIKROTREMOR MENGGUNAKAN  
METODE HVSR UNTUK MIKROZONASI DAERAH RAWAN  
GEMPA PADA PEKON WAY PANAS, WONOSOBO**

(Laporan Kuliah Lapangan)

Oleh  
**Kelompok 4**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN  
TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA  
2023**

**ANALISIS DATA MIKROTREMOR MENGGUNAKAN METODE HVSR  
UNTUK MIKROZONASI DAERAH RAWAN GEMPA PADA PEKON WAY  
PANAS, WONOSOBO**

(Laporan Kuliah Lapangan)

**Oleh**

<b>Jeremia Kelvin Sihotang</b>	<b>(2015051002)</b>
<b>Ayu Khusnul Khotimah</b>	<b>(2015051004)</b>
<b>Melisa Mayasari</b>	<b>(2015051009)</b>
<b>Asep Irawan</b>	<b>(2015051024)</b>
<b>Astri Yunita</b>	<b>(2015051028)</b>
<b>Ramadan Adi Ariawan</b>	<b>(2015051030)</b>
<b>Cindi Fintasari Saragih Jawak</b>	<b>(2015051031)</b>
<b>Firstti Jasminum Sambac S.</b>	<b>(2015051035)</b>
<b>Devi Djulianti</b>	<b>(2015051042)</b>
<b>Frederick Olembata Zendrato</b>	<b>(2015051044)</b>
<b>Gilang Ramadan</b>	<b>(2015051048)</b>
<b>Carla Aulia Salsabila</b>	<b>(2015051049)</b>
<b>Aprilianto Teguh Wibowo</b>	<b>(2015051052)</b>
<b>Sulistianingsih</b>	<b>(2015051060)</b>
<b>Bella Dona</b>	<b>(2015051062)</b>
<b>Retno Aulia</b>	<b>(2015051063)</b>
<b>Anita Evrida</b>	<b>(2015051064)</b>
<b>Rezky Ariya Dwiguna</b>	<b>(2015051067)</b>
<b>Intan Demasi</b>	<b>(2015051076)</b>



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

## **LEMBAR PENGESAHAN**

Judul Laporan : Analisis Data Mikrotremor Menggunakan Metode HVSR  
Untuk Mikrozonasi Daerah Rawan Gempa Pada Pekon  
Way Panas, Wonosobo

Kelompok : 4 (Empat)

Jurusan : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik

Bandar Lampung, 29 Juni 2023

## **MENGESAHKAN**

### **Dosen Pembimbing**

**Ida Bagus Suananda Yogi, M.T.**  
**NIP. 199407292019031010**

**Ketua Jurusan Teknik Geofisika**  
**Fakultas Teknik**  
**Universitas Lampung**

**Karyanto, S.Si.,M.T.**  
**NIP. 196912301998021001**

## **LEMBAR PENGESAHAN**

Judul Laporan : Analisis Data Mikrotremor Menggunakan Metode HVSR  
Untuk Mikrozonasi Daerah Rawan Gempa Pada Pekon  
Way Panas, Wonosobo

Kelompok : 4 (Empat)

## **MENYETUJUI**

**Asisten**

**Taufiq Feriansyah, S.T.**

**Asisten**

**Sebrina Putri Ramadhani, S.T.**

**Asisten**

**Asisten**

**Arnas Hardianto, S.T.**

**Febriyan Ananda**

1815051048

**Asisten**

**Ikram Maulia**  
1855051002

## **ABSTRAK**

### **ANALISIS DATA MIKROTREMOR MENGGUNAKAN METODE HVSR UNTUK MIKROZONASI DAERAH RAWAN GEMPA PADA PEKON WAY PANAS, WONOSOBO**

**Oleh**

**Kelompok 4**

Pekon Way Panas, Wonosobo merupakan salah satu daerah di Kabupaten Tanggamus yang memiliki tingkat kerawanan gempa cukup tinggi. Hal ini dikarenakan pekon way Panas terletak di bagian tenggara dari sesar semangko, yang merupakan *rift zone* yang mengalami divergensi 6-7 mm pertahunnya. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan metode HVSR dengan tujuan untuk mengetahui nilai frekuensi dominan ( $F_0$ ), amplifikasi ( $A_0$ ), indeks kerentanan seismic ( $K_g$ ), dan ketebalan sedimen ( $h$ ) serta hubungan *site class* daerah penelitian. Akuisisi data lapangan menggunakan alat Amadu Seismometer Logic<sup>TM</sup> dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 17 titik pengukuran dengan topografi berlereng. Berdasarkan hasil pengolahan menggunakan *software* Geopsy, maka dapat diketahui bahwasannya daerah penelitian memiliki nilai frekuensi dominan pada rentang nilai 3.46 – 17.095 Hz, nilai amplifikasi pada rentang nilai 1.089 – 3.915, nilai indeks kerentanan seismic dari 0.194 – 2.123, dan nilai ketebalan sedimen dari 6.887 – 42.18 meter. Berdasarkan klasifikasi tanah *site class* Kanai, daerah penelitian yang memiliki potensi rawan gempa berada pada sisi timur laut daerah penelitian. Secara umum daerah penelitian memiliki ketebalan sedimen permukaan sangat tipis yang didominasi oleh batuan keras, amplifikasi yang termasuk kategori rendah, indeks kerentanan seismic yang cukup rendah, dan ketebalan sedimen yang cukup tipis sekitar 16.33 meter. Berdasarkan peta geologi regional lembar Kota Agung, daerah penelitian di dominasi oleh batuan lava andesit-basaltik dan breksi. Hal ini menyebabkan secara umum daerah penelitian cukup aman terhadap getaran gempa.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	ii
<b>ABSTRAK .....</b>	iii
<b>DAFTAR ISI .....</b>	iv
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	vi
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	x
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	xi
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	2
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	5
2.1 Letak Geografis dan Luas Wilayah.....	5
2.2 Kondisi Topografi.....	6
2.3 Geologi dan Stratigrafi Regional .....	7
2.4 Pola Aliran Sungai .....	9
<b>III. TEORI DASAR.....</b>	10
3.1 Gelombang Seismik .....	10
3.1.1 Gelombang Badan.....	11
3.1.2 Gelombang Permukaan .....	13
3.2 Mikrotremor .....	14
3.3 <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)</i> .....	15
3.4 Frekuensi Natural .....	19
3.5 Amplifikasi .....	21
3.6 Indeks Kerentanan Tanah.....	23
3.7 Vs30.....	24
3.8 Ketebalan Lapisan Sedimen .....	25

<b>IV. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	27
4.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	27
4.2 Alat dan Bahan .....	28
4.3 Prosedur Penelitian.....	30
4.3.1 Tahap Persiapan .....	30
4.3.2 Tahap Akuisisi .....	30
4.4 Tahap Pengolahan dan Interpretasi .....	32
4.5 Diagram Alir.....	34
4.6 Jadwal Kegiatan .....	37
<b>V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	34
5.1 Data Pengamatan.....	34
5.2 Pembahasan .....	34
<b>VI. KESIMPULAN .....</b>	104
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	106
<b>LAMPIRAN.....</b>	110

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 1.</b> Peta Tutupan Lahan Wilyah Way Panas, Wonosobo .....	5
<b>Gambar 2.</b> Peta kontur daerah penelitian.....	6
<b>Gambar 3.</b> Peta geologi regional .....	7
<b>Gambar 4.</b> a) Ilustrasi gelombang primer, b) ilustrasi gelombang sekunder.....	13
<b>Gambar 5.</b> a) Ilustrasi gelombang <i>Love</i> ; b) Ilustrasi gelombang <i>Rayleigh</i> .....	14
<b>Gambar 6.</b> Deskripsi Komputasi Metode HVSR.....	18
<b>Gambar 7.</b> Konsep dasar amplifikasi gelombang seismic dan frekuensi resonansi di tanah permukaan .....	21
<b>Gambar 8.</b> Peta Titik Pengukuran.....	27
<b>Gambar 9.</b> Diagram Alir .....	34
<b>Gambar 10.</b> Data MS-H1-1 .....	39
<b>Gambar 11.</b> Data sinyal MS-H1-1 .....	39
<b>Gambar 12.</b> <i>Windowing</i> MS-H1-1 .....	39
<b>Gambar 13.</b> Kurva H/V titik MS-H1-1 .....	40
<b>Gambar 14.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H1-1 .....	40
<b>Gambar 15.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H1-1 .....	41
<b>Gambar 16.</b> Data MS-H1-2 .....	42
<b>Gambar 17.</b> Data sinyal MS-H1-2 .....	42
<b>Gambar 18.</b> <i>Windowing</i> MS-H1-2 .....	42
<b>Gambar 19.</b> Kurva H/V titik MS-H1-2 .....	43
<b>Gambar 20.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H1-2 .....	43
<b>Gambar 21.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H1-2.....	44
<b>Gambar 22.</b> Data MS-H1-3 .....	45
<b>Gambar 23.</b> Data sinyal MS-H1-3 .....	45

<b>Gambar 24.</b> Windowing titik MS-H1-3.....	45
<b>Gambar 25.</b> Kurva H/V titik MS-H1-3.....	46
<b>Gambar 26.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H1-3 .....	46
<b>Gambar 27.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H1-3.....	47
<b>Gambar 28.</b> Data MS-H1-4 .....	48
<b>Gambar 29.</b> Data sinyal MS-H1-4 .....	48
<b>Gambar 30.</b> Windowing titik MS-H1-4.....	48
<b>Gambar 31.</b> Kurva H/V titik MS-H1-4.....	49
<b>Gambar 32.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H1-4 .....	49
<b>Gambar 33.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H1-4.....	50
<b>Gambar 34.</b> Data MS-H1-5 .....	50
<b>Gambar 35.</b> Data sinyal MS-H1-5 .....	51
<b>Gambar 36.</b> Windowing titik MS-H1-5.....	51
<b>Gambar 37.</b> Kurva H/V titik MS-H1-5.....	52
<b>Gambar 38.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H1-5 .....	52
<b>Gambar 39.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H1-5.....	53
<b>Gambar 40.</b> Data MS-H1-6 .....	54
<b>Gambar 41.</b> Data sinyal MS-H1-6 .....	54
<b>Gambar 42.</b> Windowing titik MS-H1-6.....	54
<b>Gambar 43.</b> Kurva H/V titik MS-H1-6.....	55
<b>Gambar 44.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H1-6 .....	55
<b>Gambar 45.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H1-6.....	56
<b>Gambar 46.</b> Data MS-H2-1 .....	57
<b>Gambar 47.</b> Data sinyal MS-H2-1 .....	57
<b>Gambar 48.</b> Windowing titik MS-H2-1.....	57
<b>Gambar 49.</b> Kurva H/V titik MS-H2-1 .....	58
<b>Gambar 50.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H2-1 .....	58
<b>Gambar 51.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H2-1 .....	59
<b>Gambar 52.</b> Data MS-H2-2 .....	59
<b>Gambar 53.</b> Data sinyal MS-H2-2 .....	60
<b>Gambar 54.</b> Windowing titik MS-H2-2.....	60
<b>Gambar 55.</b> Kurva H/V titik MS-H2-2.....	61

<b>Gambar 56.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H2-2 .....	61
<b>Gambar 57.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H2-2 .....	62
<b>Gambar 58.</b> Data MS-H2-3 .....	63
<b>Gambar 59.</b> Data sinyal MS-H2-3 .....	63
<b>Gambar 60.</b> <i>Windowing</i> titik MS-H2-3 .....	63
<b>Gambar 61.</b> Kurva H/V titik MS-H2-3 .....	64
<b>Gambar 62.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H2-3 .....	64
<b>Gambar 63.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H2-3 .....	65
<b>Gambar 64.</b> Data MS-H2-4 .....	66
<b>Gambar 65.</b> Data sinyal MS-H2-4 .....	66
<b>Gambar 66.</b> <i>Windowing</i> titik MS-H2-4 .....	66
<b>Gambar 67.</b> Kurva H/V titik MS-H2-4 .....	67
<b>Gambar 68.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H2-4 .....	67
<b>Gambar 69.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H2-4 .....	68
<b>Gambar 70.</b> Data MS-H3-1 .....	69
<b>Gambar 71.</b> Data sinyal MS-H3-1 .....	69
<b>Gambar 72.</b> <i>Windowing</i> titik MS-H3-1 .....	69
<b>Gambar 73.</b> Kurva H/V titik MS-H3-1 .....	70
<b>Gambar 74.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H3-1 .....	70
<b>Gambar 75.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H3-1 .....	71
<b>Gambar 76.</b> Data MS-H3-2 .....	72
<b>Gambar 77.</b> Data sinyal MS-H3-2 .....	72
<b>Gambar 78.</b> <i>Windowing</i> titik MS-H3-2 .....	72
<b>Gambar 79.</b> Kurva H/V titik MS-H3-2 .....	73
<b>Gambar 80.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H3-2 .....	73
<b>Gambar 81.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H3-2 .....	74
<b>Gambar 82.</b> Data MS-H3-3 .....	75
<b>Gambar 83.</b> Data sinyal MS-H3-3 .....	75
<b>Gambar 84.</b> <i>Windowing</i> titik MS-H3-3 .....	75
<b>Gambar 85.</b> Kurva H/V titik MS-H3-3 .....	76
<b>Gambar 86.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H3-3 .....	76
<b>Gambar 87.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H3-3 .....	77

<b>Gambar 88.</b> Data MS-H3-4 .....	77
<b>Gambar 89.</b> Data sinyal MS-H3-4.....	78
<b>Gambar 90.</b> <i>Windowing</i> titik MS-H3-4.....	78
<b>Gambar 91.</b> Kurva H/V titik MS-H3-4.....	79
<b>Gambar 92.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H3-4.....	79
<b>Gambar 93.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H3-4.....	80
<b>Gambar 94.</b> Data MS-H4-1 .....	80
<b>Gambar 95.</b> Data sinyal MS-H4-1 .....	81
<b>Gambar 96.</b> <i>Windowing</i> titik MS-H4-1.....	81
<b>Gambar 97.</b> Kurva H/V titik MS-H4-1 .....	82
<b>Gambar 98.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H4-1 .....	82
<b>Gambar 99.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H4-1 .....	83
<b>Gambar 100.</b> Data MS-H4-2 .....	84
<b>Gambar 101.</b> Data sinyal MS-H4-2 .....	84
<b>Gambar 102.</b> <i>Windowing</i> titik MS-H4-2.....	84
<b>Gambar 103.</b> Kurva H/V titik MS-H4-2 .....	85
<b>Gambar 104.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H4-2 .....	85
<b>Gambar 105.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H4-2 .....	86
<b>Gambar 106.</b> Data MS-H4-3 .....	87
<b>Gambar 107.</b> Data sinyal MS-H4-3 .....	87
<b>Gambar 108.</b> <i>Windowing</i> titik MS-H4-3.....	87
<b>Gambar 109.</b> Kurva H/V titik MS-H4-3 .....	88
<b>Gambar 110.</b> Partikel <i>motion</i> horizontal titik MS-H4-3 .....	88
<b>Gambar 111.</b> Partikel <i>motion</i> vertikal titik MS-H4-3 .....	89
<b>Gambar 112.</b> Peta frekuensi dominan daerah penelitian .....	92
<b>Gambar 113.</b> Peta faktor amplifikasi daerah penelitian.....	95
<b>Gambar 114.</b> Peta pemodelan indeks kerentanan seismic daerah penelitian.....	98
<b>Gambar 115.</b> Peta ketebalan sedimen .....	100
<b>Gambar 116.</b> Peta Arah <i>Particle motion</i> pada arah horizontal .....	103
<b>Gambar 117.</b> Peta Arah <i>Particle Motion</i> pada arah vertical .....	103

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 1.</b> Klasifikasi tanah berdasarkan frekuensi dominan Mikrotremor oleh Kanai .....	19
<b>Tabel 2.</b> Klasifikasi tanah Kanai-Omote Nakajima .....	20
<b>Tabel 3.</b> Klasifikasi nilai faktor amplifikasi.....	22
<b>Tabel 4.</b> Pembagian zona amplifikasi tanah .....	23
<b>Tabel 5.</b> Klasifikasi jenis batuan berdasarkan <i>Uniform Building Code</i> (UBC)....	26
<b>Table 6.</b> Peralatan Penelitian Metode Mikroseismik .....	28
<b>Tabel 7.</b> Jadwal Kegiatan .....	37
<b>Tabel 8.</b> Data Pengamatan Microseismik .....	38
<b>Tabel 9.</b> Klasifikasi nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) daerah penelitian .....	91
<b>Tabel 10.</b> Klasifikasi nilai faktor amplifikasi ( $A_0$ ) daerah penelitian .....	94
<b>Tabel 11.</b> Nilai Vs30 dan Ketebalan Sedimen .....	99

## **KATA PENGANTAR**

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur kehadirt Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga Laporan Akhir Kuliah Lapangan ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW. Laporan Kuliah Lapangan ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Mata Kuliah Kuliah Lapangan Teknik Geofisika Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini tidak lepas dari kesalahan. Karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dari pembaca untuk kemajuan kita bersama. Semoga laporan ini berguna dan dapat menunjang perkembangan ilmu pengetahuan serta dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan juga bagi para pembaca pada umumnya.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Bandar Lampung, 29 Juni 2022

Penulis,

Kelompok 4

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pekon Way Panas adalah sebuah daerah yang terletak di Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung, Indonesia. Daerah ini dikenal sebagai daerah dengan topografi perbukitan dengan lereng yang cukup curam. Sama seperti daerah di Tanggamus lainnya, Pekon Way Panas juga berpotensi terhadap adanya gempa karena Way Panas terletak di bagian tenggara dari sesar semangko, yang merupakan *rift zone*. *Rift zone* adalah bukaan dari suatu sesar atau divergensi yang terjadi saat sesar mengalami pergeseran. Sesar ini juga mengacu pada utara dimana merupakan potensi panas bumi di Suoh. Pada *rift zone* ini mengalami divergensi 6 - 7 mm pertahunnya. Dalam rangka melakukan pemetaan mikrozonasi daerah ini, analisis data mikrotremor menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik tanah dan memahami respons dinamiknya terhadap gempa.

Pengukuran Mikrotremor merupakan pengukuran seismik pasif untuk merekam getaran yang dihasilkan oleh aktivitas bumi ataupun aktivitas manusia, biasanya metode ini dapat digunakan untuk mengetahui kondisi struktur bawah permukaan berdasarkan frekuensi dominannya dan faktor amplifikasinya. Data mikrotremor diolah menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Konsep dasar metode HVSR adalah melakukan perbandingan pada spektrum komponen horizontal dan spektrum komponen vertikalnya. Parameter yang didapatkan dari metode HVSR yaitu frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan amplifikasi tanah ( $A_0$ ). Frekuensi dominan ( $f_0$ ) menjadi parameter yang mewakili kondisi geologi setempat. Nilai frekuensi

dominan dapat diperoleh dari kurva HVSR untuk menentukan nilai indeks kerentanan seismik ( $k_g$ ) dan nilai  $V_{S30}$ . Metode HVSR merupakan metode yang mudah sehingga dapat dilakukan dimana saja, selain itu dapat langsung memperkirakan frekuensi resonansi tanpa terlebih dahulu mengetahui nilai kecepatan gelombang geser dan kondisi geologi bawah tanah. HVSR yang terukur pada tanah digunakan dalam mengkarakterisasi kondisi. Salah satu metode untuk mengetahui kondisi geologi setempat, adalah dengan menggunakan teknik HVSR yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur tanah. Perkembangan metode ini juga dapat digunakan untuk mengestimasi indeks kerentanan tanah. Parameter metode HVSR diperlukan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan yang mempengaruhi frekuensi natural dan amplifikasi bertujuan untuk interpretasi mikrozonasi dengan HVSR secara tepat. Metode HVSR termasuk metode yang murah, efektif, dan ramah lingkungan namun, masih banyak perdebatan pada konsep HVSR terkait dominasi gelombang geser dan gelombang permukaan pada kurva HVSR.

Salah satu cara untuk mengetahui karakterisasi dinamika lapisan permukaan tanah adalah dengan metode *Horizontal Vertical Spectral To Rasio* (HVSR). Metode ini efektif digunakan untuk mengetahui dinamika lapisan tanah dalam area yang luas, karena dirasa metode HVSR merupakan metode yang cukup efektif. Metode ini menggunakan perbandingan antara komponen horizontal dan komponen vertikal, dimana metode HVSR ini diasumsikan rasio spektrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan.

Dalam konteks mikrozonasi daerah rawan gempa, analisis HVSR membantu mengidentifikasi dan memetakan zona-zona dengan karakteristik tanah yang berbeda-beda di Pekon Way Panas, Tanggamus. Karakteristik ini mencakup faktor-faktor seperti frekuensi resonansi, kecepatan gelombang, tingkat redaman, dan amplifikasi gelombang gempa. Informasi ini kemudian

digunakan untuk menggambarkan tingkat risiko gempa di berbagai lokasi di daerah tersebut.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan akuisisi dan mengolah data akuisisi mikrotremor dengan menggunakan metode HVSR.
2. Menentukan karakteristik dinamika tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan ( $F_0$ ), amplifikasi ( $A_0$ ), indeks kerentanan seismik (Kg), dan ketebalan sedimen (h) daerah penelitian serta mampu melakukan *overlay* peta dari parameter-parameter tersebut.
3. Mampu menganalisis hubungan antara nilai frekuensi dominan ( $F_0$ ), amplifikasi ( $A_0$ ), indeks kerentanan seismik (Kg), dan ketebalan sedimen (h) serta mampu menganalisis *site class* dalam konteks mikrozonasi daerah rawan gempa pada daerah penelitian.

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah pada pengolahan data menggunakan *software* Geopsy untuk mengetahui nilai frekuensi dominan ( $F_0$ ), amplifikasi ( $A_0$ ), indeks kerentanan seismik (Kg), ketebalan sedimen (h), dan *site class* daerah penelitian, serta hubungan antara parameter-parameter tersebut dalam rangka mikrozonasi daerah rawan gempa pada daerah penelitian.

## 1.4 Manfaat Penelitian

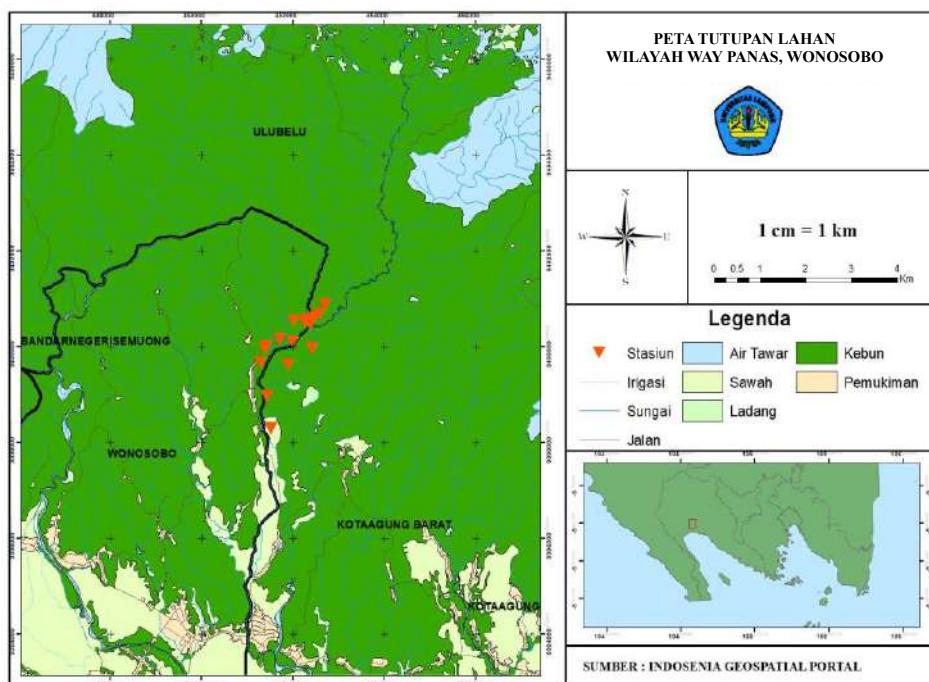
Dengan dilakukannya penelitian ini, maka dapat mengetahui karakteristik dinamika tanah daerah Way Panas, Wonosobo berdasarkan frekuensi natural, faktor amplifikasi, indeks kerentanan tanah, dan ketebalan sedimen. Selain itu penelitian ini memberikan informasi dan rekomendasi kepada pihak-pihak terkait terhadap mikrozonasi daerah rawan gempabumi daerah Way Panas, Wonosobo. Penelitian ini juga dapat memberikan pengetahuan dan wawasan

terkait lapangan kerja Teknik Geofisika khususnya terkait akuisisi data mikrotremor.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Keadaan Geografis Dan Kondisi Daerah Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Pekon Way Panas Kecamatan Wonosobo Kabupaten Tanggamus. Kecamatan Wonosobo adalah salah satu dari 20 (dua puluh) kecamatan yang ada di Kabupaten Tanggamus. Luas wilayah Kecamatan Wonosobo 190,64 km<sup>2</sup> (190.640 ha). Pusat pemerintahan berjarak ± 5 km yang berada di desa Pekon Balak, jarak dari ibu kota kabupaten ± 15 km, serta jarak dari ibukota provinsi ± 105 km. Kecamatan Wonosobo terdiri atas 23 desa atau pekon dan 87 dusun atau lingkungan. Secara Geografis Kabupaten Tanggamus berada pada posisi 104° 18' - 105°12' Bujur Timur - 4°50' - 5°41' Lintang Selatan.

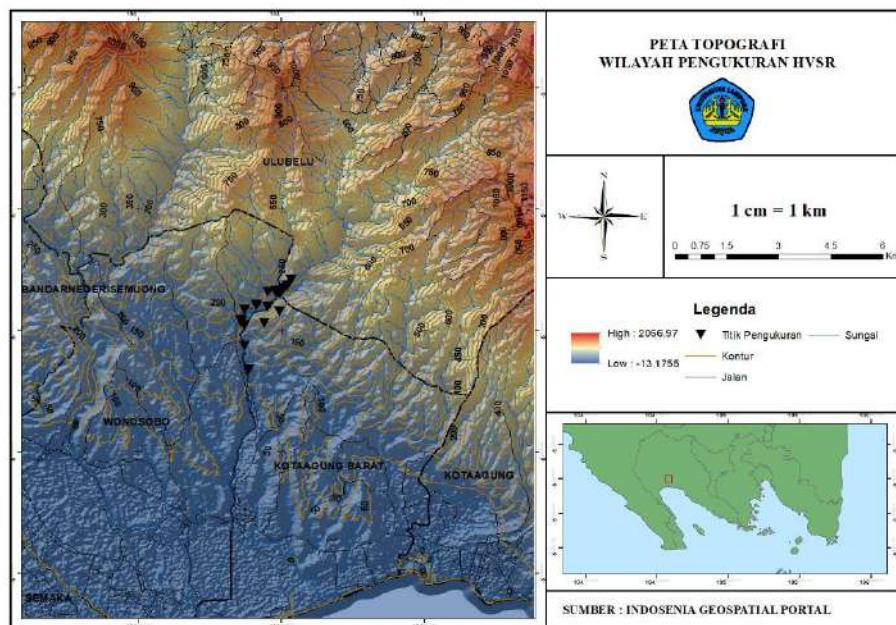


**Gambar 1.** Peta Tutupan Lahan Wilayah Way Panas, Wonosobo

Berdasarkan gambar 1, maka dapat diketahui bahwasannya sebagian besar daerah penelitian didominasi oleh wilayah perkebunan seperti kebun cokelat, kebun pisang, dan lain sebagainya.

## 2.2 Kondisi Topografi

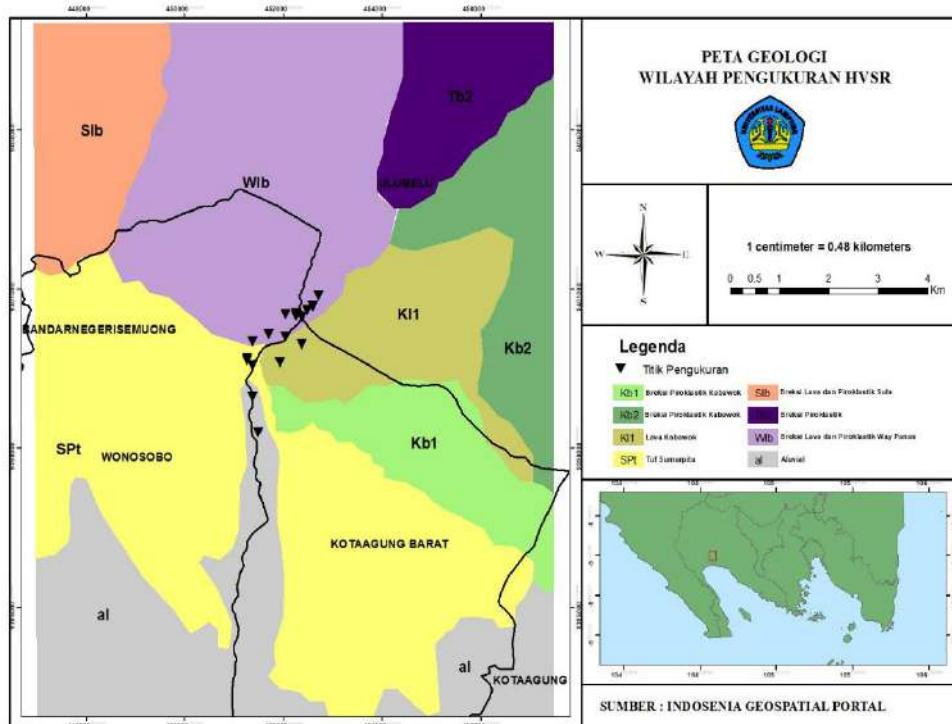
Pekon Way Panas, Wonosobo, Tanggamus terletak di Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung, Indonesia. Daerah ini memiliki kondisi topografi yang beragam dengan kombinasi perbukitan dan pegunungan. Daerah penelitian memiliki rentang nilai topografi dari 90 meter hingga 312 meter dari permukaan laut. Beberapa bagian Pekon Way Panas terletak di daerah perbukitan. Perbukitan di daerah ini ditandai dengan adanya lereng yang curam dan kontur tanah yang lebih rapat dan berbukit-bukit. Sedangkan Bagian tertentu dari Pekon Way Panas terletak di daerah pegunungan. Pegunungan di daerah ini ditandai dengan ketinggian yang signifikan, kontur yang terjal, dan kemiringan yang curam. Topografi pegunungan cenderung memiliki kualitas tanah yang berbeda dan mempengaruhi drainase dan erosi. Adapun untuk lebih jelasnya terkait keadaan topografi daerah Way Panas, Wonosobo dapat dilihat pada gambar 2 di bawah.



**Gambar 2.** Peta kontur daerah penelitian

### 2.3 Geologi dan Stratigrafi Regional

Pekon Way Panas, Wonosobo, Tanggamus, Lampung terletak di wilayah yang terbentuk oleh aktivitas gunung berapi aktif Kuarter yang muncul di atas endapan produk vulkanik dari periode Tersier. Distribusi batuan di daerah ini ditunjukkan dalam Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Peta geologi regional

Berdasarkan satuan litologi yang dibagi berdasarkan karakter fisik dan asal vulkaniknya, daerah penelitian terbagi dalam empat satuan litologi yaitu Tuff Sumurputu (SPt), Breksi lava dan piroklastik Way Panas (WLB), Lava Kabawok (KL1), dan Aluvial (al). Adapun penjelasan dari masing-masing satuan litologi adalah sebagai berikut.

#### a. Tuff Sumurputu (SPt)

Satuan ini terletak di bagian barat daya daerah penelitian. Tufa tersebut mengalami pelapukan, memiliki warna putih, ukuran butir pasir sedang, dan tersortasi dengan baik. Beberapa fragmen andesit dapat ditemukan sebagai bom sag. Tufa batu apung juga teramat, didukung oleh biji-bijian, termasuk litik, kuarsa, plagioklas, hornblende, dan piroksen.

Beberapa batu apung mengalami alterasi menjadi serisit. Amin dkk. (1993) mengklasifikasikan satuan ini sebagai bagian dari Formasi Vulkanik Muda Kuarter yang terbentuk akibat letusan gunung berapi di Tanggamus. Namun, van Bemmelen (1949) dan Masdjuk (1989) mengusulkan bahwa satuan ini memiliki usia Plio-Pelistosen. Pengamatan lapangan menunjukkan adanya morfologi peneplain yang terbentuk pada unit ini, mengindikasikan usia yang lebih tua dan dipotong oleh sesar normal Pliosen Akhir Way Panas. Pengamatan lapangan juga mengungkapkan bahwa satuan ini mengendap sebelum breksi lava dan piroklastik Sula, serta breksi piroklastik Way Panas. (Husein dkk., 2015).

b. Breksi lava dan piroklastik Way Panas (WLB)

Satuan ini tersebar di bagian tengah-timur daerah penelitian. Breksi piroklastik ini memiliki sifat polimik, terpisah dengan buruk, dan fragmennya terdiri dari batu apung, andesit, dan andesit basaltik. Massa dasarnya merupakan kaca vulkanik yang telah mengalami alterasi kuat menjadi serisit dan kalsit. Lava andesitiknya berwarna coklat dengan tekstur afanitik dan porfiritik. Fragmennya terdiri dari plagioklas, kuarsa, dan piroksen, beberapa di antaranya mengalami sedikit alterasi menjadi iddingsite, epidot, dan oksida besi. Berdasarkan penanggalan radiometrik, Masdjuk (1989) menempatkan satuan ini pada usia 3,9 juta tahun. Sedangkan berdasarkan polaritas paleomagnetik, Suharno dkk., (2005) menunjukkan bahwa satuan ini harus lebih tua dari 0,7 juta tahun. Analisis penginderaan jauh menunjukkan bahwa satuan ini lebih muda daripada breksi lava dan piroklastik Sula (SLB) (Husein dkk., 2015).

c. Lava Kabawok (KL1)

Satuan ini terdapat di bagian tengah-selatan daerah penelitian. Satuan ini memiliki warna abu-abu dengan tekstur porfiritik, dengan fenokris plagioklas dan piroksen. Beberapa fenokris mengalami perubahan menjadi epidot. Terdapat juga urat kuarsa yang diamati pada sayatan

tipis. Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa unit ini lebih muda daripada breksi piroklastik pertama Kabawok (KB1) (Husein dkk., 2015).

d. Aluvial (al)

Satuan ini tersebar di bagian selatan-barat daya daerah penelitian. Satuan ini merupakan endapan Holosen yang merupakan satuan stratigrafi termuda di daerah penelitian. Satuan ini terdiri dari kerikil, pasir, dan lumpur yang diendapkan sebagai dataran banjir melalui proses fluvial (Husein dkk., 2015).

#### **2.4 Pola Aliran Sungai**

Pola aliran merupakan rangkaian bentuk aliran sungai pada daerah lemah yang terdapat tempat erosi mengambil bagian secara aktif serta daerah rendah tempat air permukaan mengalir dan berkumpul. Pola aliran merupakan fungsi dari bentuk lahan, topografi, tingkat erosi, litologi struktur geologi, dan iklim. Pola aliran sungai yang berkembang pada wilayah penelitian antara lain: paralel dan subparalel. Pola aliran sungai paralel dengan ciri aliran sungai hampir sejajar dengan aliran utama (induk) tersebar pada timur hingga baratlaut wilayah penelitian, pola aliran sungai sub-paralel memiliki pola aliran yang bercabang dengan anak sungai yang hampir sejajar meliputi utara wilayah penelitian. Pola aliran paralel dan sub-paralel ini biasanya terdapat pada lereng yang curam-sangat curam.

### **III. TEORI DASAR**

#### **3.1 Gempa Bumi**

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan kemudian dipancarkan ke segala arah dalam bentuk gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi. Selain itu, terjadinya gempa bumi juga bisa disebabkan oleh aktivitas gunung api, meteor jatuh, longsoran (di bawah muka air laut), dan ledakan bom nuklir di bawah permukaan. Gempa bumi tektonik merupakan getaran yang dihasilkan dari peristiwa patahan batuan akibat benturan dua lempeng secara perlahan-lahan (Musthofa, 2010).

Terdapat beberapa jenis gempabumi yang dapat diklasifikasi berdasarkan berbagai aspek. Menurut sumber terjadinya, gempabumi dikelompokkan menjadi:

1. Gempa tektonik adalah gempabumi yang berasal dari pergeseran lapisan lapisan batuan sepanjang bidang besar di dalam bumi.
2. Gempa vulkanik adalah gempabumi yang berasal dari pergerakan magma karena aktivitas gunungapi.
3. Gempa longsoran atau runtuhan adalah gempabumi yang terjadi karena aktivitas runtuhan pada daerah pertambangan atau daerah tanah longsor.
4. Gempa buatan adalah gempabumi yang terjadi karena adanya aktivitas manusia di kulit bumi yang menyebabkan getaran yang cukup kuat.

Berdasarkan kekuatannya atau magnitudo (M), gempabumi dapat dibedakan:

1. Gempabumi sangat besar dengan magnitudo lebih besar dari 8 SR.
  2. Gempabumi besar magnitudo antara 7 hingga 8 SR.
  3. Gempabumi merusak magnitudo antara 5 hingga 6 SR.
  4. Gempabumi sedang magnitudo antara 4 hingga 5 SR.
  5. Gempabumi kecil dengan magnitudo antara 3 hingga 4 SR.
  6. Gempabumi mikro magnitudo antara 1 hingga 3 SR.
  7. Gempabumi ultra mikro dengan magnitudo lebih kecil dari 1 SR
- (Ibrahim, 2005).

### **3.2 Gelombang Seismik**

Gelombang seismik menyebar ke segala arah dan bergerak sangat cepat. Gelombang seismik terkuat berada di wilayah yang dekat dengan episenter dan melemah saat gelombang menyebar. Kerusakan yang ditimbulkan gelombang ini tergantung pada jenis batuan penyusun permukaan yang bergetar (Philip, 2008).

Menurut Kayal (2008), gelombang gempa bumi ini terdiri dari dua tipe gelombang, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan.

#### **3.2.1 Gelombang Badan**

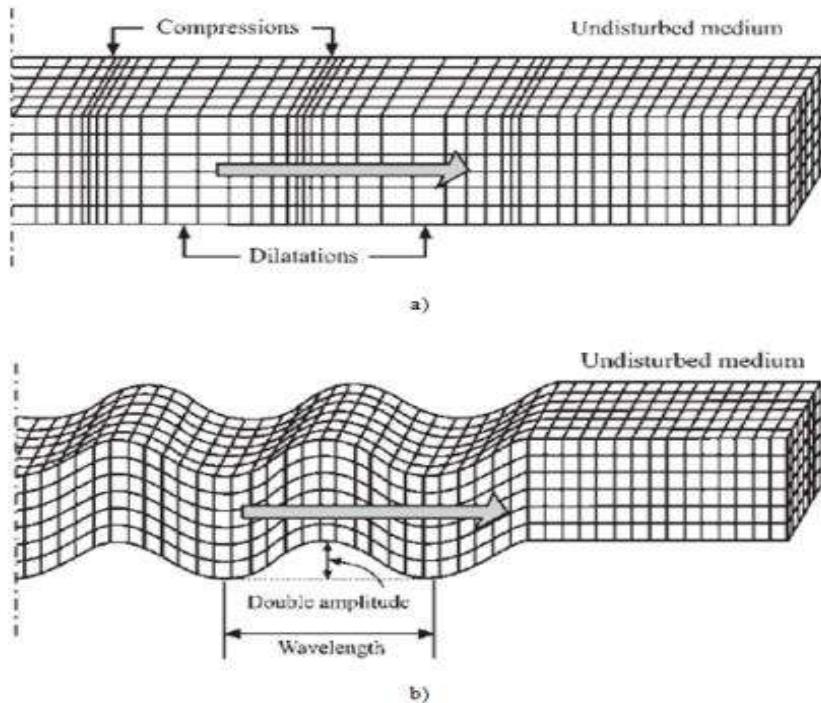
Gelombang badan menjalar melalui bagian dalam permukaan bumi dan menjalar ke segala arah di dalam bumi atau biasa disebut *free wave*. Philip (2008) memaparkan bahwa gelombang badan terbagi menjadi dua, yaitu: Gelombang Primer atau gelombang P terjadi karena adanya tekanan dan bergerak 21.600 km/jam lebih cepat dari gelombang S sehingga akan terdeteksi pertama oleh seismograf. Gelombang P menarik dan mendorong batuan, karena itu merupakan gelombang longitudinal (Philip, 2008). Menurut Kayal (2008), kecepatan penjalaran gelombang P ditulis dengan persamaan (1):

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

dengan  $V_p$  adalah kecepatan gelombang P (m/s),  $\mu$  merupakan modulus geser ( $Pa$ ),  $\rho$  merupakan densitas atau kerapatan material yang dilalui gelombang ( $Kg/m^3$  ), dan  $k$  adalah modulus bulk ( $Pa$ ). Gelombang Sekunder atau gelombang S menggerakan batuan ke atas, ke bawah, ke kiri, dan ke kanan sehingga berdasarkan gerakannya termasuk gelombang transversal (Philip, 2008). Gelombang ini menjalar lebih lambat dibandingkan dengan gelombang primer, tetapi memancarkan energi lebih banyak. Kecepatan gelombang sekunder rata-rata  $2/3$  kali kecepatan gelombang primer (Roosa, 2006). Kecepatan gelombang S dapat dituliskan dengan persamaan (2) :

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

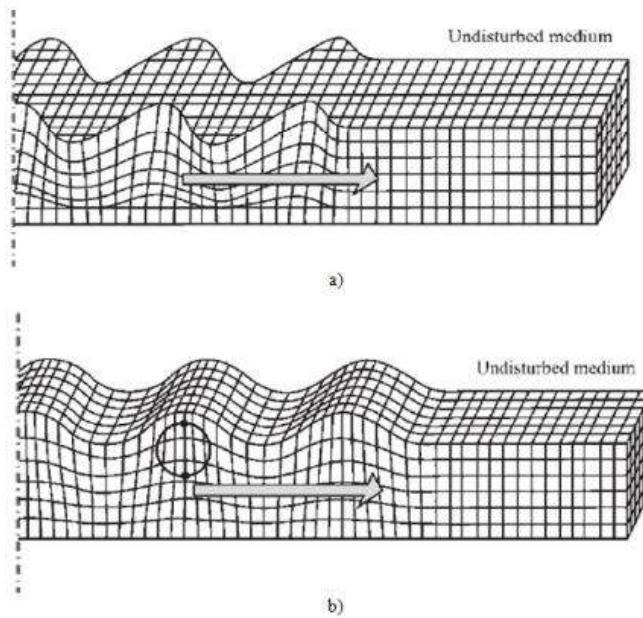
dengan  $V_s$  merupakan kecepatan gelombang S (m/s),  $\mu$  merupakan modulus geser ( $Pa$ ) dan  $\rho$  merupakan densitas atau kerapatan material yang dilalui gelombang ( $Kg/m^3$  ) (Kayal, 2008). Ilustrasi gelombang P dan gelombang S dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** a) ilustrasi gelombang primer, b) ilustrasi gelombang sekunder (Elnashai dan Sarno, 2008).

### 3.2.2 Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan menjalar lebih lambat daripada gelombang badan, namun mengakibatkan kerusakan yang lebih besar. Hal ini dikarenakan gelombang permukaan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk melewati permukaan bumi. Gelombang permukaan dibedakan menjadi dua, yaitu: Gelombang *Rayleigh* bergerak ke atas dan ke bawah (Philip, 2008). Gelombang *Rayleigh* memiliki kecepatan dari 2,0 km/s hingga 4,2 km/s di dalam bumi (Hidayati, 2010). Gelombang *Love* menekan batuan ke kiri dan ke kanan (Philip, 2008). Gelombang ini termasuk gelombang transversal dan memiliki kecepatan di permukaan bumi sebesar dari 2,0 km/s hingga 4,4 km/s (Hidayati, 2010). Ilustrasi gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love* ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** a) Ilustrasi gelombang *Love*; b) Ilustrasi gelombang *Rayleigh* (Elnashai dan Sarno, 2008).

### 3.3 Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran tanah selain gempa bumi, bisa disebabkan oleh aktivitas manusia maupun aktivitas alam. Mikrotremor dapat terjadi karena getaran akibat orang yang sedang berjalan, getaran mobil, getaran mesin-mesin pabrik, gerakan angin, gelombang laut, atau getaran alamiah dari tanah. Mikrotremor adalah getaran natural tanah yang memiliki perpindahan amplitudo sekitar 0,1–1 mikron dan kecepatan 0,001-0,01 cm/s yang dapat dideteksi oleh seismograf tertentu (Mirzaoglu, 2003). Kaitannya dengan mikroseismik, mikrotremor merupakan getaran tanah yang menjalar dalam bentuk gelombang yang disebut gelombang mikroseismik.

Mikrotremor juga dikenal sebagai getaran alam (*ambient noise*) yang berasal dari dua sumber yaitu alam dan manusia. Nilai amplitudo *ambient noise* seismik tidak besar tetapi terjadi secara terus menerus. Sumber mikrotremor berupa alam menghasilkan nilai frekuensi rendah yaitu di bawah 1 Hz. Gelombang laut menimbulkan ambient vibration dengan frekuensi sekitar 0,2 Hz sedangkan interaksi antara gelombang laut dan pantai menghasilkan nilai frekuensi sekitar 0,5 Hz. Frekuensi tinggi yaitu lebih dari 1 Hz bisa

ditimbulkan oleh angin dan aliran air. Sumber utama yang menghasilkan nilai frekuensi tinggi yaitu aktifitas manusia seperti lalu lintas kendaraan, mesin, dan lainnya (Rahmatullah, 2013).

Perekaman mikrotremor tidak berbeda dengan perekaman gelombang seismik pada seismometer. Alat yang digunakan pun merupakan seismometer. Untuk metode mikrotremor diperlukan seismometer yang memiliki tiga komponen untuk merekam gelombang yaitu komponen EW (*East-West*), komponen NS (*North-South*), dan komponen vertikal (*up-down*). Perekaman mikrotremor tidak membutuhkan sumber buatan atau sumber berupa gempa bumi, namun pengukuran langsung dilakukan karena yang direkam merupakan gelombang yang timbul dari alam.

Data mikrotremor dipengaruhi oleh gelombang seismik yang merambat pada batuan keras dan lapisan tanah permukaan atau lapisan sedimen. Gelombang yang ada pada mikrotremor terdiri dari gelombang badan dan gelombang *Rayleigh*. Gelombang *Rayleigh* merambat pada permukaan tanah sedangkan gelombang badan merambat pada batuan dasar.

Mikrotremor mempunyai frekuensi lebih tinggi dari frekuensi gempabumi, periodenya kurang dari 0,1 detik yang secara umum antara 0.05 – 2 detik dan untuk mikrotremor periode panjang bisa 5 detik, sedang amplitudennya berkisar 0,1 – 2,0 mikron. Kaitannya dengan mikroseismik, mikrotremor merupakan getaran tanah yang menjalar dalam bentuk gelombang yang disebut gelombang mikroseismik. Belakangan ini aplikasi mikrotremor digunakan untuk mengidentifikasi resonansi frekuensi natural bangunan dan tanah (Warnana, 2011).

### 3.4 *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)*

Nakamura (1989) mengusulkan metode HVSR untuk mengestimasi frekuensi alami dan amplifikasi geologi setempat dari data mikrotremor. Metode ini juga dapat digunakan untuk melokalisir daerah rawan kerusakan bangunan

akibat efek lokal, interaksi antara bangunan dan tanah, dan kekuatan bangunan.

Metode HVSR merupakan salah satu cara untuk memahami sifat struktur bawah permukaan tanpa menyebabkan gangguan pada struktur tersebut. Metode ini merupakan metode yang memperlihatkan hubungan antara struktur bawah permukaan tanah dengan perbandingan rasio spektrum fourier dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya (Nakamura, 1989). Metode HVSR menghasilkan parameter penting yaitu nilai frekuensi predominan dan faktor amplifikasi yang berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan.

Metode HVSR dapat menjelaskan fenomena frekuensi resonansi lapisan permukaan tanpa harus menggunakan referensi dari batuan bedrock, yaitu dengan melakukan pengukuran di satu tempat dan menghasilkan tiga komponen yaitu vertikal, horizontal utara-selatan, dan horizontal timur-barat. Metode ini juga berfungsi untuk mengidentifikasi respon resonansi pada lembah sedimen atau cekungan yang berisi material sedimen. Metode ini merupakan metode yang efektif, murah, dan ramah lingkungan yang dapat digunakan pada wilayah pemukiman (Sudrajat, 2016).

Dalam karakterisasi HVSR, perlu diketahui model gelombang yang terkandung dalam HVSR terlebih dahulu. Ada beberapa perbedaan pendapat tentang model gelombang yang terkandung dalam HVSR. Nakamura (2000) berpendapat bahwa HVSR merupakan gelombang badan, yakni gelombang SH (Sekunder-Horizontal). Sylvette dkk, (2006) menunjukkan bahwa HVSR terpengaruh oleh gelombang permukaan yakni gelombang love dan rayleigh. Nakamura (1989) mengembangkan konsep bahwa amplitudo dan frekuensi puncak HVSR merepresentasikan amplifikasi dan frekuensi lokasi (*site*) setempat. *Site effect* terjadi akibat keberadaan lapisan tanah lunak yang menempati setengah cekungan dari batuan dasar. Dalam kondisi ini ada empat komponen gerakan yang terlibat, yaitu komponen gerak horizontal dan

vertikal di batuan dasar dan komponen gerak horizontal dan vertikal di permukaan (Arifti, 2014). Faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal di permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan dilambangkan dengan TH dan TV (Nakamura, 2000).

*Site Effect* ( $T_{SITE}$ ) pada permukaan lapisan sedimen, biasanya digambarkan dengan cara membandingkan faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal pada permukaan tanah sedimen.

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (3)$$

Besarnya faktor amplifikasi horizontal TH adalah:

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (4)$$

dengan SHS adalah spektrum dari komponen gerak horizontal di permukaan tanah, dan SHB adalah spektrum dari komponen gerak horizontal pada dasar lapisan tanah.

Besarnya faktor amplifikasi vertikal TV adalah:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (5)$$

dengan SVS adalah spektrum dari komponen gerak vertikal di permukaan tanah, dan SVB adalah spektrum dari komponen gerak vertikal pada dasar lapisan tanah. Gelombang rayleigh mendominasi data mikrotremor dibanding beberapa jenis gelombang yang lain. Pengaruh gelombang rayleigh pada rekaman mikrotremor memiliki besar yang sama untuk komponen vertikal dan horizontal saat rentang frekuensi 0,2 Hz – 20,0 Hz, sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati satu:

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (6)$$

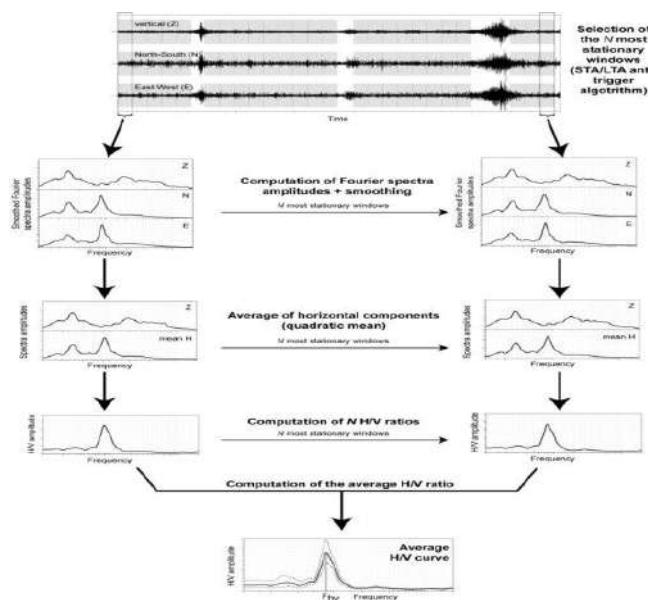
Subsitusi persamaan amplifikasi horizontal dengan amplifikasi vertikal dimasukan dalam ampfifikasi horizontal dan vertikal pada permukaan tanah sedimen:

$$T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (7)$$

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

$$HVSR = T_{SITE} = \frac{\sqrt{(Sutara-selatan)^2 + (Sbarat-timur)^2}}{S_{vertikal}} \quad (8)$$

Pada analisis HVSR, sedimen mungkin terkontaminasi respon bangunan, sehingga identifikasi resonansi dimungkinkan salah. Metode ini dilakukan dengan cara membandingkan rasio selisih spektrum masing-masing komponen horizontal bangunan dan tanah yang kondisi geologinya sama dengan kondisi tanah di bawah bangunan dengan komponen horizontal masing-masing spektrum bangunan (Herak dkk., 2010). Secara garis besar prosedur pengolahan data menggunakan HVSR ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Deskripsi Komputasi Metode HVSR (Nakamura, 1989  
(Modifikasi Sunardi dkk., 2012)).

### 3.5 Frekuensi Natural

Frekuensi natural atau frekuensi dominan mempresentasikan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Frekuensi natural dipengaruhi oleh besarnya kecepatan rata-rata dan ketebalan sedimen bawah permukaan. Frekuensi natural berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen (*bedrock*) dan berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Nilai frekuensi natural suatu daerah dipengaruhi oleh ketebalan lapisan lapuk (H) dan kecepatan bawah permukaan (*Vs*) (Mucciarelli dkk., 2008).

Nilai frekuensi natural mempengaruhi tebal tidaknya lapisan sedimen pada suatu daerah (Shaleha dkk., 2016). Semakin rendah nilai frekuensi natural tanah maka lapisan sedimen di daerah tersebut semakin tebal dan semakin besar nilai frekuensi natural tanah, maka lapisan sedimennya akan semakin tipis. Hal tersebut juga dapat menunjukkan kedalaman dari batuan yang lebih keras atau *bedrock* (Sulistiwani dkk., 2016).

Kanai, Omote, dan Nakajima telah mengklasifikasikan tanah berdasarkan periode dominan tanah. Dan Kanai juga telah mengklasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan

**Tabel 2.** Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan Mikrotremor oleh Kanai (Arifin dkk., 2013).

Klasifikasi Tanah	Frekuensi Natural (Hz)	Klasifikasi Kanai	Ketebalan Sedimen Permukaan
Jenis I	6,667-20	Batuan tersier atau lebih tua yang terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i> , dll	Sangat tipis dan didominasi oleh batuan keras.
Jenis II	10-4	Batuan alluvial dengan ketebalan 5 m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay</i> , dll.	Menengah (5-10 m)
Jenis III	2,5-4	Batuan alluvial dengan ketebalan >5 m. Terdiri dari <i>sandy gravel, sandy hard clay</i> , dll.	Tebal (10-30 m)

Jenis IV	<2,5	Batuhan Alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>topsoil</i> , lumpur, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih	Sangat tebal (>30 m)
----------	------	--	----------------------

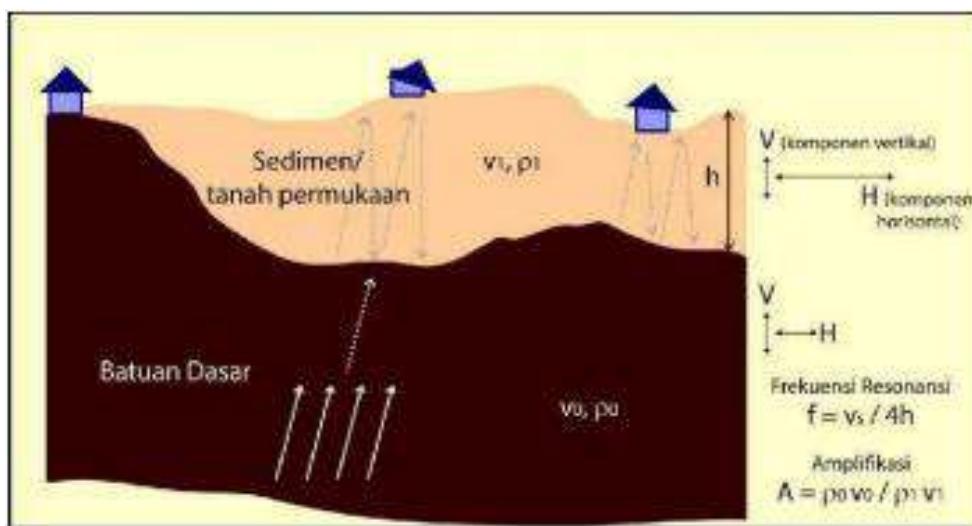
**Tabel 3.** Klaifikasi tanah Kanai – Omote Nakajima (dikutip dari bulletin meteorology dan Geofisika No. 4, 1998).

Klasifikasi tanah		Periode Dominan (T)	Deskripsi	Karakter
Kanai	Omote-nakajima			
Jenis I	Jenis A	0,05 – 0,15	Batuhan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras	Keras
Jenis II		0,15 – 0,25	Batuhan alluvial dengan ketebalan 5m. terdiri dari pasir berkerikil ( <i>sandy gravel</i> ), lempung keras ( <i>sandy hard clay</i> ), tanah liat, lempung ( <i>loam</i> )	Sedang
Jenis III	Jenis B	0,25 – 0,40	Batuhan alluvial hampir sama dengan jenis II hanya, dibedakan oleh adanya formasi bluff	Lunak
Jenis IV	Jenis C	>0,40	Batuhan alluvial terbentuk dari sedimentasi delta, <i>topsoil</i> , lumpur, humus, endapan delta atau endapan lumpur, yang tergolong ke dalam tanah lembak dengan kedalaman 30m atau lebih	Sangat Lunak

Pada tabel 2 dijelaskan mengenai perbedaan nilai frekuensi dominan pada beberapa jenis tanah dan batuan tertentu. Selain itu juga berpengaruh kepada ketebalan sedimennya. Semakin tebal lapisan sedimennya maka nilai frekuensinya akan semakin kecil. Berdasarkan hal tersebut maka lapisan dengan klasifikasi tanah Jenis I termasuk daerah dengan ketebalan sedimen paling tebal dan klasifikasi Jenis IV merupakan lapisan sedimen paling tipis.

### 3.6 Amplifikasi

Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismic yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium wal yang dilaluinya. Nilai dari faktor amplifikasi (penguatan) tanah berhubungan dengan rasio kontras impedansi lapisan permukaan terhadap lapisan di bawahnya. Semakin tinggi rasio kontras impedansi dari dua lapisan tersebut, semakin tinggi juga nilai faktor amplifikasinya (Nakamura, 2000).



**Gambar 7.** Konsep dasar amplifikasi gelombang seismic dan frekuensi resonansi di tanah permukaan (Nakamura, 1989)

Berdasarkan pengertian tersebut, maka amplifikasi dapat dituliskan sebagai suatu fungsi perbandingan nilai kontras impedansi, dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$A_0 = \left\{ \frac{(\rho_0 \cdot V_0)}{(\rho_1 \cdot v_1)} \right\} \quad (9)$$

Keterangan:

$\rho_0$  = densitas batuan dasar (gr/ml)

$\rho_1$  = rapat massa dari batuan lunak (gr/ml)

$V_0$  = kecepatan gelombang di batuan dasar (m/dt)

$$V_1 = \text{kecepatan gelombang batuan lunak (m/dt)}$$

Faktor amplifikasi memberikan gambaran tentang perubahan (pembesaran) percepatan gerakan tanah dari batuan dasar ke permukaan. Pembesaran percepatan tanah dari batuan dasar ke permukaan disebabkan karena perbedaan kecepatan gerakan gelombang geser (VS) di batuan dasar dan pada lapisan tanah (sedimen). Nilai VS dari batuan dasar ke permukaan akan mengecil. Nilai VS yang makin mengecil menyebabkan kecilnya nilai modulus geser (GS) dan faktor redaman, sehingga percepatan tanah akan makin membesar. Semakin besar nilai faktor amplifikasi maka semakin besar pula percepatan gerakan tanah di permukaan (Partono dkk., 2013).

Amplifikasi berbanding lurus dengan nilai perbandingan spectral horizontal dan vertikalnya (H/V). Nilai amplifikasi bisa bertambah, jika batuan telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan atau pesesaran) yang mengubah sifat fisik batuan (Saaduddin, 2015). Menurut Towhata (2008) ada 4 penyebab amplifikasi suatu daerah yaitu:

1. Adanya lapisan lapuk yang terlalu tebal di atas lapisan keras.
2. Fn (frekuensi natural tanah) rendah.
3. Fn gempa dengan geologi setempat sama atau hampir sama.
4. Gelombang gempa terjebak di dalam lapisan lapuk dalam waktu yang lama.

Nilai faktor amplifikasi yang berbeda-beda pada suatu daerah dapat diklasifikasikan berdasarkan tinggi rendahnya dengan klasifikasi sebagai berikut:

**Tabel 4.** Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (Setiawan, 2009)

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

**Tabel 5.** Pembagian zona amplifikasi tanah (Marjiyono, 2010)

No	Amplifikasi Tanah	Warna dalam Pemetaan	Keterangan Resiko
1	0-3	Biru	Rendah
2	3-6	Hijau	Sedang
3	6-9	Kuning	Tinggi
4	Lebih dari 9	Merah	Sangat Tinggi

Gejala amplifikasi pada suatu daerah disebabkan adanya gelombang seismik yang terjebak di dalam suatu perlapisan sedimen. Besaran amplifikasi tanah dapat dihitung secara teoritis, seperti yang dilakukan oleh Wakamatsu (2006) dalam membuat hazardzoning map untuk wilayah Jepang. Amplifikasi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Log Amp} = 2,367 - 0,82 \log Vs30 \pm 0,166 \quad (10)$$

### 3.7 Indeks Kerentanan Tanah

Salah satu parameter yang dinilai dalam pengukuran mikroseismik pada mikrozonasi gempa adalah indeks kerentanan tanah (Kg). Nakamura (1989) menyatakan, Indeks Kerentanan (Kg) suatu wilayah mengidentifikasikan tingkat kerentanan suatu lapisan tanah yang mengalami deformasi akibat gempa bumi.

Indeks Kerentanan seismik (Kg) merupakan angka yang menunjukkan tingkat kerawanan terhadap gempa bumi berdasarkan kondisi batuan di daerah tersebut. Kerentanan seismik ini, nilainya berbeda di setiap wilayah. Acuan dari angka Kg biasanya dibandingkan dengan titik lainnya di daerah tersebut. Setelah didapatkan nilai Periode Dominan ( $T_0$ ) dan Faktor Amplifikasi kemudian mencari Indeks Kerentanan Seismik (Kg) menggunakan persamaan (2) berikut:

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (11)$$

Dengan  $A_0$  dan  $f_0$  adalah amplitudo (faktor amplifikasi) dan frekuensi natural. Nilai  $K_g$  yang tinggi umumnya ditemukan pada tanah dengan litologi batuan sedimen yang lunak. Nilai yang tinggi tersebut mendeskripsikan bahwa daerah tersebut rentan terhadap gempa. Sebaliknya, nilai  $K_g$  yang kecil umumnya ditemukan pada tanah dengan batuan penyusun yang kuat dan stabil sehingga saat terjadi gempa, daerah tersebut hanya mengalami guncangan yang kecil.

### 3.8 $V_{s30}$

$V_{s30}$  adalah rata-rata kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter dari permukaan tanah yang telah banyak digunakan di *Ground Motion Prediction Equations* (GMPEs), meskipun sendiri tidak bisa mewakili *site effect* karena kecepatan gelombang shear hingga kedalaman 30 meter dari permukaan, kedalaman *bedrock* dan rasio impedansi antara lapisan tanah dan *bedrock*, semuanya berkontribusi secara signifikan terhadap respon *site* (Castellaro dkk., 2008).

Nilai  $V_{s30}$  ini dapat dipergunakan dalam penentuan standar bangunan tahan gempa. Nilai  $V_{s30}$  digunakan untuk menentukan klasifikasi batuan berdasarkan 32 kekuatan getaran gempabumi akibat efek lokal serta digunakan untuk keperluan dalam perancangan bangunan tahan gempa.  $V_{s30}$  merupakan data yang penting dan paling banyak digunakan dalam teknik geofisika untuk menentukan karakteristik struktur bawah permukaan hingga kedalaman 30 meter (Roser dan Gosar, 2010). Hanya lapisan-lapisan batuan sampai kedalaman 30 meter saja yang menentukan pembesaran gelombang gempa (Wangsadinata, 2006).

Diasumsikan bahwa kecepatan gelombang geser melewati lapisan pada ketebalan 30 meter dari permukaan, dikarenakan terjadi resonansi pada

amplitude maksimum sebesar  $\tau/4$  di lapisan sedimen. sehingga persamaan yang terbentuk menjadi;

$$Vs = f \cdot \tau \quad (12)$$

$$h = \tau/4 \text{ Sehingga } \tau = 4h \quad (13)$$

$$Vs_{30} = f \cdot 4h \quad (14)$$

Dengan  $f$ ,  $Vs$ ,  $\tau$ , dan  $h$  berturut-turut menunjukkan frekuensi natural, kecepatan gelombang SH dan ketebalan sedimen. Dari persamaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa frekuensi natural berbanding lurus terhadap kecepatan gelombang SH dan berbanding terbalik terhadap ketebalan sedimen (Syahruddin dkk., 2014).

### 3.9 Ketebalan Lapisan Sedimen

Ketebalan lapisan sedimen menggambarkan ketebalan lapisan yang lunak atau lapuk pada lapisan permukaan tanah di atas batuan dasar. Ketebalan lapisan sedimen mempengaruhi kecepatan dari penjalaraan gelombang badan. Menurut Nakamura (2008) ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) berhubungan dengan frekuensi natural ( $f_0$ ) dan kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter ( $Vs_{30}$ ), sehingga dapat dirumuskan persamaan sebagai berikut:

$$f_0 = \frac{Vs_{30}}{4h} \quad (15)$$

dengan  $h$  sebagai ketebalan sedimen sehingga:

$$h = \frac{Vs_{30}}{4f_0} \quad (16)$$

Menurut Zaharia, dkk (2008), semakin kecil nilai frekuensi dominan maka semakin tebal lapisan lapuk, sehingga kedalaman dari batuan dasar juga semakin dalam. Lapisan sedimen yang tebal menyebabkan banyaknya gelombang yang terjebak yang menimbulkan frekuensi dominan yang kecil. Jika frekuensi dari sebuah bangunan sama dengan frekuensi dominan dari

lapisan tanah maka akan terjadi resonansi gelombang yang dapat menyebabkan penguatan gelombang seismik sehingga dapat menyebabkan kerusakan besar pada bangunan.

Nilai Vs30 ditentukan berdasarkan data dari *United State Geological Survey* (USGS) dengan memasukkan koordinat pengambilan data. Nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m dapat digunakan sebagai penentuan parameter geoteknik dalam pembangunan infrastruktur. Berikut adalah klasifikasi nilai Vs30 berdasarkan *Uniform Building Code* (UBC) yang ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Klasifikasi Jenis Batuan berdasarkan *Uniform Building Code* (UBC) (Nurrahmi, 2015)

Tipe Batuan	Profil Jenis Batuan	Vs30
A	<i>Hard Rock</i> (Batuan Keras)	>1500 m/s
B	<i>Rock</i> (Batuan Sedang)	760 – 1500 m/s
C	<i>Very Dense Soil and Soft Rock</i> (Tanah Keras dan Batuan Lunak)	360 – 760 m/s
D	<i>Stiff soil</i> (Tanah sedang)	180 – 360 m/s
E	<i>Soft Soil</i> (Tanah Lunak)	<180 m/s

## IV. METODOLOGI PENELITIAN

### 4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan pada 17 Juni 2023 sampai 22 Juni 2023 dengan lokasi penelitian berada di Desa Way Panas, Wonosobo Kabupaten Tanggamus Provinsi Lampung. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 17 titik yang tersebar secara acak. Pengukuran dilaksanakan selama empat hari dengan hari pertama sebanyak 6 titik pengukuran dengan kode MS-H1, hari kedua sebanyak 4 titik pengukuran dengan kode MS-H2, hari ketiga sebanyak 4 titik pengukuran dengan kode MS-H3, dan hari keempat sebanyak 3 titik pengukuran dengan kode MS-H4.



Gambar 8. Peta Titik Pengukuran

## 4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

**Tabel 7.** Peralatan Penelitian Metode Mikroseismik

No.	Nama Alat	Kegunaan
1.	 Amadu Seismometer Logic™ <p>Spesifikasi alat:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensi : 185x185x242 mm</li> <li>- Berat : 7,5 kg</li> <li>- Temperatur Penggunaan : 0-60°C</li> <li>- Tipe Sensor : Tiga komponen (utara-selatan, timur-barat, vertikal)</li> <li>- Sensitivitas : <math>600 \pm 10\%</math> V/m/d</li> <li>- Sample per Sekon : 128 sps</li> <li>- Tegangan Sumber Daya Listrik : 12 Volt DC</li> <li>- Daya Listrik : 4,2 Watt</li> </ul>	Digunakan untuk merekam data pada saat pengukuran
2.	 Kabel Soket Aki	Digunakan untuk menyambungkan alat amadu dengan aki
3.	 Aki	Digunakan sebagai daya untuk mengaktifkan alat amadu
4.	 Plat Besi	Digunakan sebagai alas alat amadu

5.	 GPS Antenna	Digunakan untuk memplot area pengukuran
6.	 GPS Garmin	Digunakan untuk memplot arah utara, longitude, latitude dan elevasi titik pengukuran
7.	 Kompas Geologi	Digunakan untuk mengukur struktur singkapan batuan pada titik pengukuran
8.	 Laptop	Digunakan untuk merekam data dari alat amadu
9.	 Software Geopsy	Digunakan untuk mengolah data hasil perekaman
10.	 Software Surfer	Digunakan untuk memplot peta kontur daerah pengukuran
11.	 Software ArcGIS	Digunakan untuk membuat peta geologi, peta sebaran titik pengukuran, dan sebagainya

12.	 <i>Software Google Earth</i>	Digunakan untuk memplot titik oengukuran seluruh kelompok
13.	 <i>Software Microsoft Excel</i>	Digunakan untuk menyimpan dan Menyusun data pengukuran

### 4.3 Prosedur Penelitian

Adapun tahapan dalam pelaksanaan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

#### 4.3.1 Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan persiapan alat dan bahan, kemudian melakukan pengumpulan informasi dari studi pustaka, informasi geologi, dan studi lapangan. Studi pustaka untuk mempelajari literatur-literatur yang berhubungan dengan bahasan mengenai metode mikrotremor. Tahap informasi litologi bertujuan untuk mengetahui kondisi litologi batuan di daerah penelitian.

#### 4.3.2 Tahap Akuisisi

Pada tahap akuisisi dilakukan pengambilan data di lokasi penelitian dengan metode mikrotremor. Adapun hal-hal yang dilakukan dalam proses akuisisi data dengan metode mikrotremor yaitu sebagai berikut:

- Tentukanlah lokasi pengukuran yang anda inginkan, arahkan panah arah utara pada Amadu Seismometer Logic™ sesuai dengan arah utara geografis.
- Pasang perangkat pendukung Amadu Seismometer Logic™ seperti antena GPS, sementara itu sambungkan kabel power negatif (hitam) dan positif (merah) ke sumber arus aki.
- Buka pengunci pada ketiga sensor (Z,N,E) dengan memutar baut berlawanan arah jarum jam, yang ada di bagian atas dan samping alat ke arah kiri hingga baut tidak bisa diputar lagi.

- Lakukan *levelling* dengan memutar tiga baut yang ada di bagian bawah alat, hingga *bubble* pada indikator *levelling* berada di tengah.
- Hubungkan kabel *power* yang sudah tersambung dengan sumber arus aki ke Amadu Seismometer Logic<sup>TM</sup>.
- Tombol *power* tidak perlu ditekan, karena tombol ini berfungsi untuk mematikan saja.
- Tunggu hingga lampu indikator berwarna biru menyala (kurang lebih selama 20 detik) yang menunjukkan alat Amadu Seismometer sudah menyala.
- Alat akan melakukan perekaman jika lampu berwarna biru sudah berkedip, yang menunjukkan bahwa GPS sudah mendapatkan sinyal.
- Hotspot Amadu (SSID = amadu2001) akan aktif dalam waktu kurang lebih 60 detik dari terhubungnya kabel power ke Amadu Seismometer.
- Buka komputer atau *smartphone* untuk memastikan *hotspot* Amadu telah aktif.
- Jika hotspot Amadu sudah menyala, rekaman dapat ditampilkan secara
- Jika alat sudah selesai digunakan dan akan dimatikan, tekan tombol power satu kali, lalu lampu indikator berwarna biru akan mati.
- Tunggu selama 5 detik untuk kemudian anda dapat melepas semua sambungan kabel dan melakukan penguncian sensor (Z,N,E) dengan memutar baut searah jarum jam.

### 1.3.3 Tahap Akuisisi Topografi

- Pada akuisisi topografi dilakukan sepanjang jalan menuju titik pengukuran.
- Dilakukan menggunakan GPS garmin

- Jarak setiap titik pengukuran topografi adalah 20m dengan titik yang lainnya.
- Pada saat sampai dititik pengukuran mikrotremor lakukan plot topografi disekitar titik pengukuran microtremor.
- Pengambilan plot topografi disekitar titik pengukuran microtremor dilakukan secara random dengfan jarak sekitar 50 m mengelilingi titik pengukuran microtremor

#### **4.4 Tahap Pengolahan**

Pengolahan data mikrotremor menggunakan metode analisis *Horizontal to Vertical Spectrum Ratio* (HVSR). Hasil akuisisi didapatkan data getaran tanah fungsi waktu. Data ini tercatat dalam 3 komponen, yaitu komponen vertikal (atas-bawah), utara-selatan, dan barat-timur.

##### **4.4.1 Perhitungan frekuensi dominan ( $f_0$ ), faktor amplifikasi ( $A_0$ )**

Proses pengolahan data mikrotremor menggunakan perangkat lunak GEOPSY untuk memperoleh rata-rata spektrum H/V dari data rekaman yang telah disiapkan. Perangkat lunak GEOPSY ini akan memberikan grafik kurva HVSR yang terdapat nilai frekuensi dominan dan puncak kurva HVSR (faktor amplifikasi tanah,  $A_0$ ).

Tahapan Pengolahan *Geopsy* :

1. *Import signals > file > load file* > data pengukuran dengan format mseed
2. Klik *menu waveform > remove trend* agar sinyal naik
3. Klik *menu tools > spectrum* untuk menampilkan frekuensi dari ketiga sinyal x, y, z > buka *spectrum toolbox* > gunakan *time window* dengan length 30 s > *select auto*

*Before remove event*

4. Pada grafik gelombang seismik, klik *start* untuk melakukan *windowing*

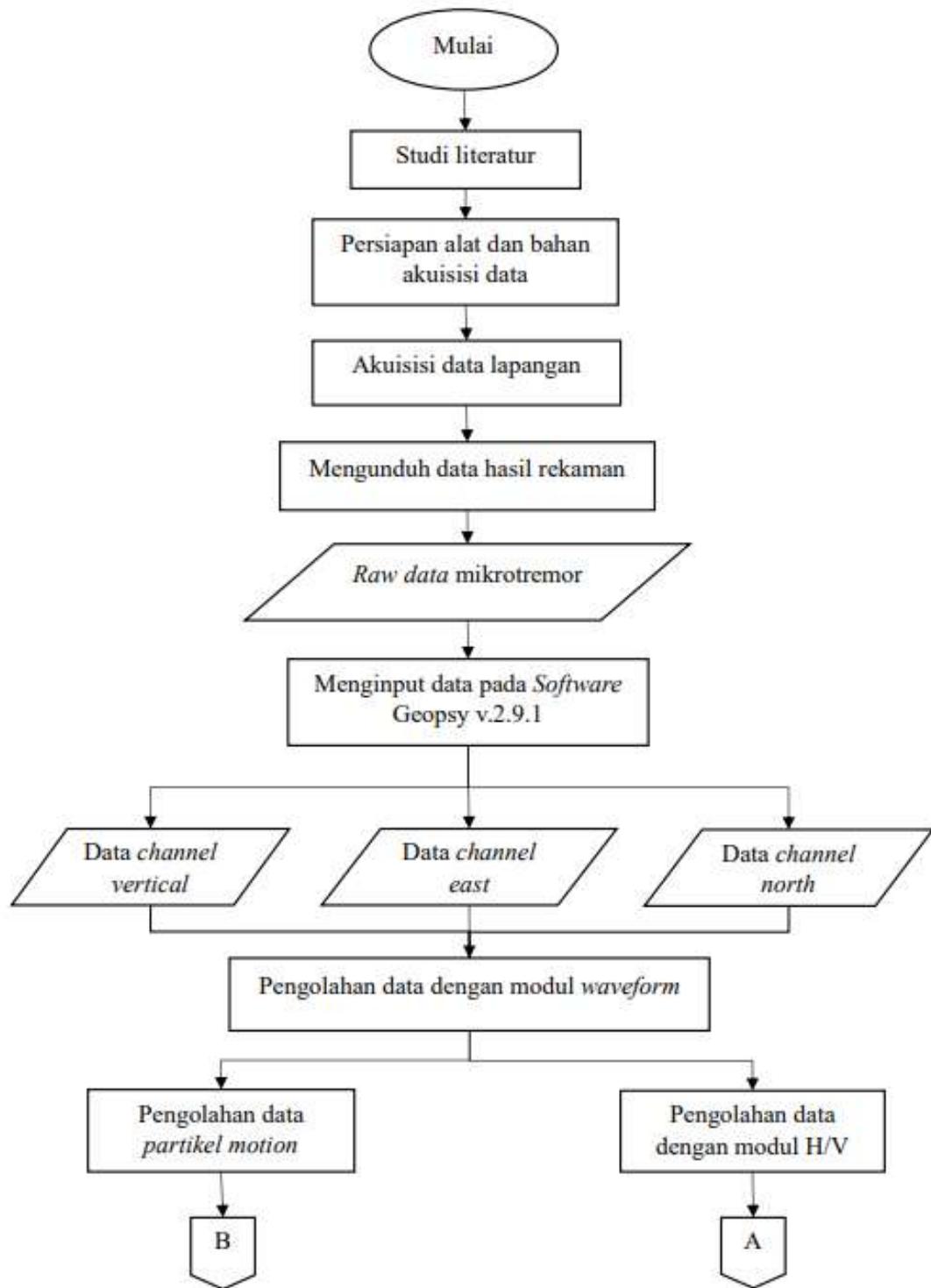
5. *Double click* pada setiap kurva Z, N, E untuk menampilkan *property editor > edit X axis* dengan *range maximum 60* dan *Y axis* dengan *range maximum 10*. Lakukan hal yang sama untuk setiap kurva
6. Klik salah satu data pada tabel kemudian ke *menu tools > H/V > atur length 30 s > select auto > start > lihat H/V result*
7. *Double click* pada kurva > ubah X axis dengan *range maximum 60* dan Y axis dengan *range maximum 10*
8. Klik *tools > edit peaks > remove station > edit peak search range from 1.00 Hz to 60.00 Hz* > didapat standar deviasi A0 f0.

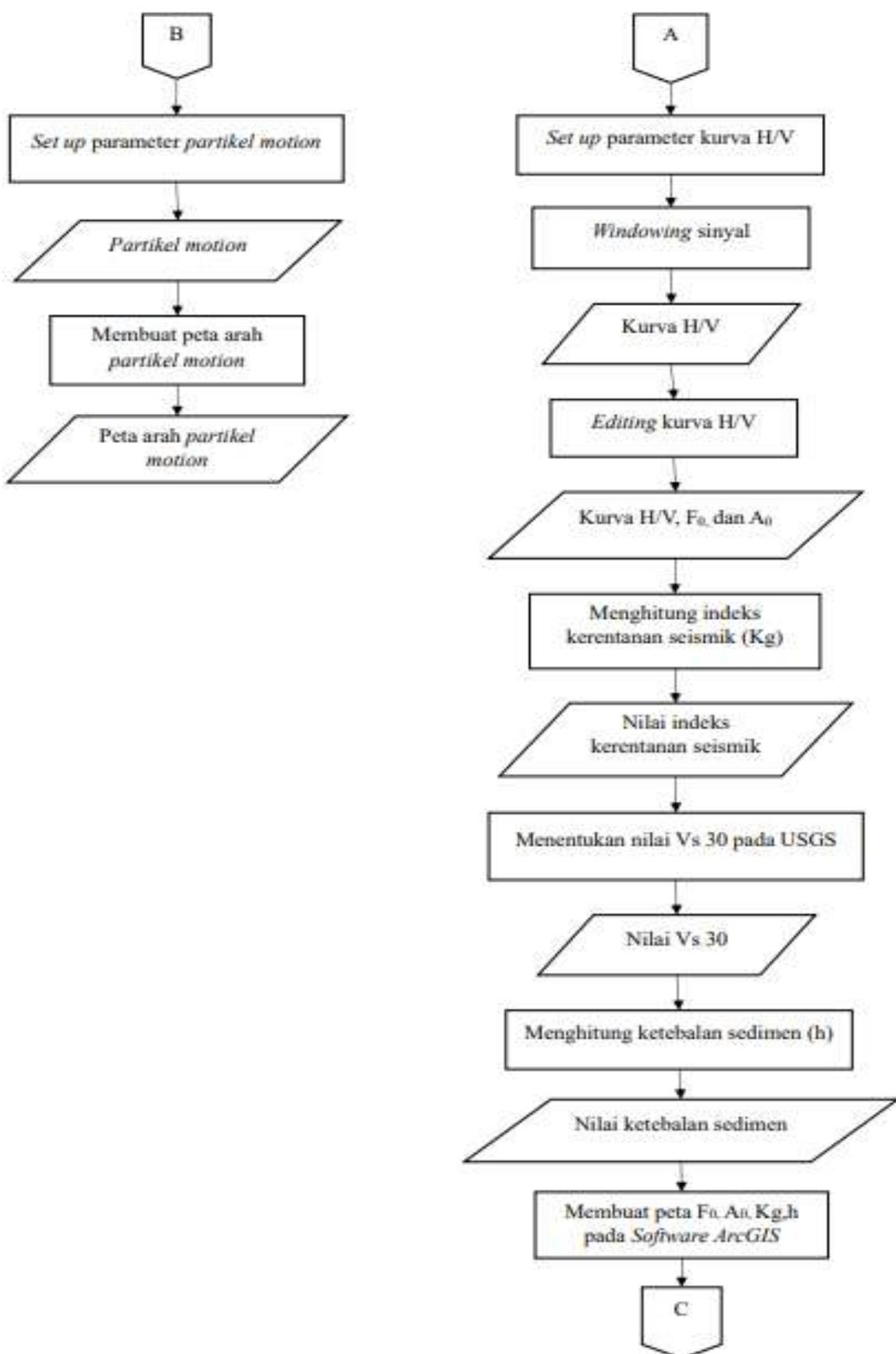
*After remove event*

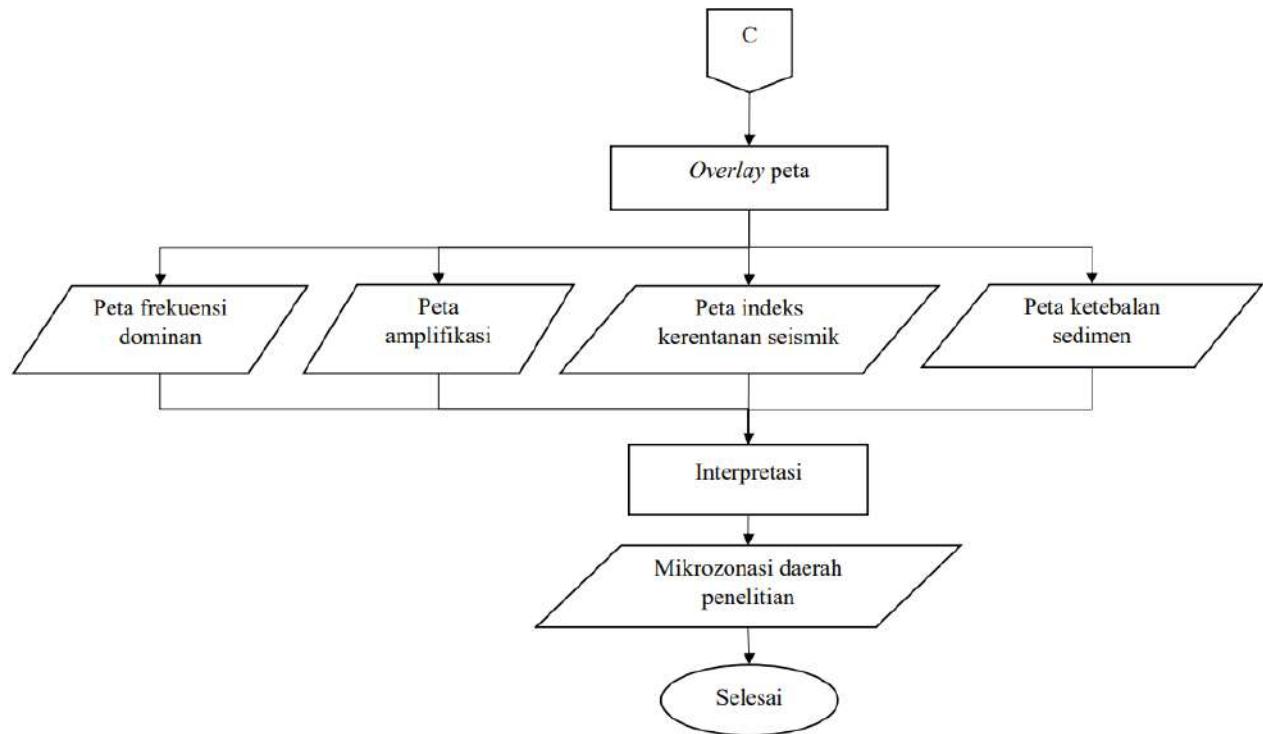
9. Pada grafik gelombang seismik, lihat kembali *spectrum toolbox > select > remove*
10. Hilangkan *event-event* tinggi/sinyal yang dianggap *noise > start*
11. Lihat kembali kurva Z, N, E, *double click* dan atur X axis dengan *range maximum 60* dan Y axis dengan *range maximum 10*.
12. Klik salah satu data pada tabel kemudian ke *menu tools > H/V > atur length 30 s > select > remove > hilangkan event-event* tinggi/sinyal yang dianggap *noise > start > lihat H/V result*
13. *Double click* pada kurva > ubah X axis dengan *range maximum 60* dan Y axis dengan *range maximum 10*
14. Klik *tools > edit peaks > remove station > edit peak search range from 1.00 Hz to 60.00 Hz* > didapat standar deviasi A0 f0.

#### 4.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir dari pengolahan data microtremor adalah sebagai berikut.







**Gambar 9.** Diagram Alir

## 4.6 Jadwal Kegiatan

Adapun jadwal kegiatan ini sebagai berikut

**Tabel 7. Jadwal Kegiatan**

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Data Pengamatan

Adapun data pengamatan yang didapatkan dari pengukuran dilakukan di lapangan adalah sebagai berikut:

**Tabel 8.** Data Pengamatan Microseismik

Stasiun	UTM X	UTM Y	Elevasi	F0	A0	Kg
MS-H1-1	451383	9399958	143	11,4217	2,24234	0,440222
MS-H1-2	451416	9400010	146	11,3337	3,91567	1,352821
MS-H1-3	451700	9400150	175	16,3697	2,89991	0,513722
MS-H1-4	452008	9400529	195	16,3301	2,78215	0,473993
MS-H1-5	452296	9400554	163	5,10841	3,19008	1,992129
MS-H1-6	451279	9399658	128	8,90848	2,3147	0,601431
MS-H2-1	451520	9398296	90	16,9403	2,56838	0,389401
MS-H2-2	451421	9398971	101	16,4561	3,78869	0,872271
MS-H2-3	451892	9399619	237	16,9647	2,77352	0,453436
MS-H2-4	452413	9399965	312	3,46165	1,08952	0,342916
MS-H3-1	452444	9400603	205	3,47809	2,0795	1,243303
MS-H3-2	452576	9400685	222	4,37451	3,04787	2,123555
MS-H3-3	452691	9400879	268	14,1086	2,50539	0,444904
MS-H3-4	452702	9400876	249	16,0855	1,76696	0,194097
MS-H4-1	451990	9400100	150	13,0275	3,47199	0,925328
MS-H4-2	452265	9400505	184	17,0952	2,36065	0,325979
MS-H4-3	452384	9400472	159	12,7859	2,6656	0,555723

### 5.2 Pembahasan

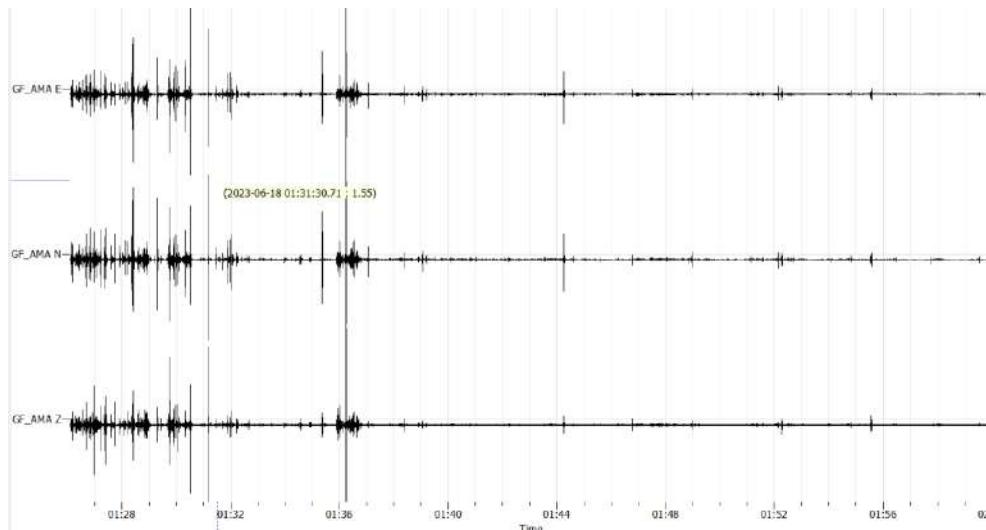
#### Titik MS-H1-1

Pada tahap awal adalah proses *windowing* pada data mikrotremor MS-H1-1 berada pada koordinat 451383 E dan 9399558 S pada zona 48 S dengan elevasi 143 meter, proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya

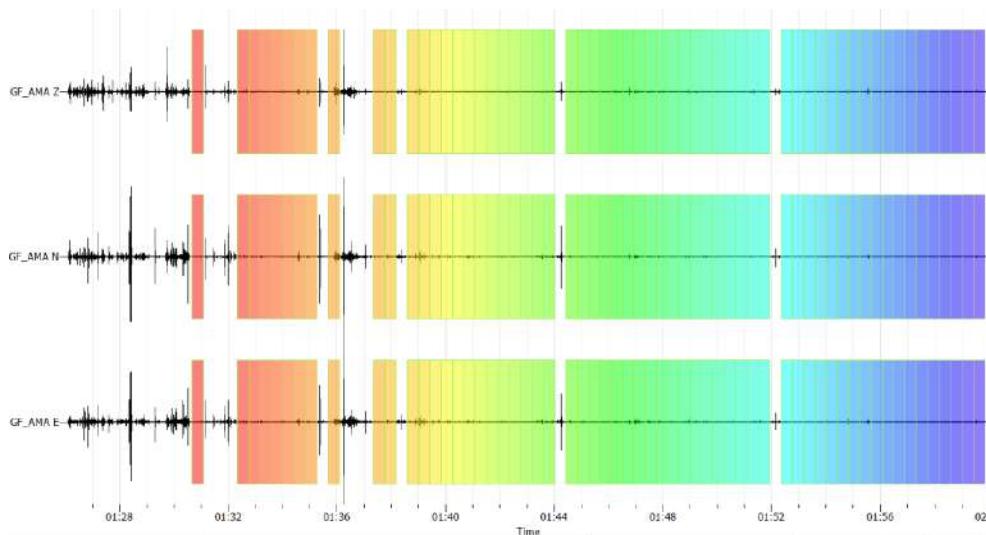
Bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses *windowing*, dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal untuk dapat memudahkan dalam proses penghapusan *event*. Pada gambar dibawah ini merupakan kurva H/V untuk data MS-H1-1.

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
113	GF_AMA	East	2023-06-18 01:26:05.087200	2023-06-18 02:00:00.962200	128	0.0078125	260592	33m55.875000s	0	0
214	GF_AMA	North	2023-06-18 01:26:05.087200	2023-06-18 02:00:00.962200	128	0.0078125	260592	33m55.875000s	0	0
315	GF_AMA	Vertical	2023-06-18 01:26:05.087200	2023-06-18 02:00:00.962200	128	0.0078125	260592	33m55.875000s	0	0

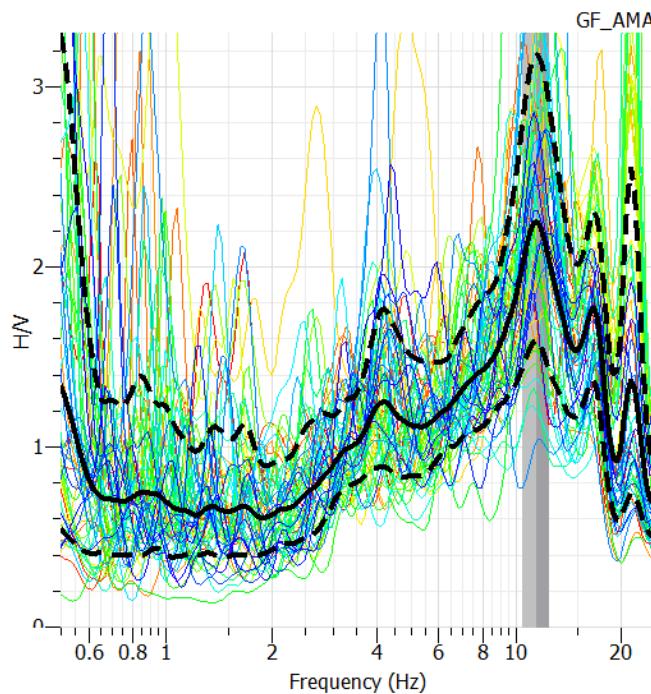
**Gambar 10.** Data MS-H1-1



**Gambar 11.** Data sinyal MS-H1-1

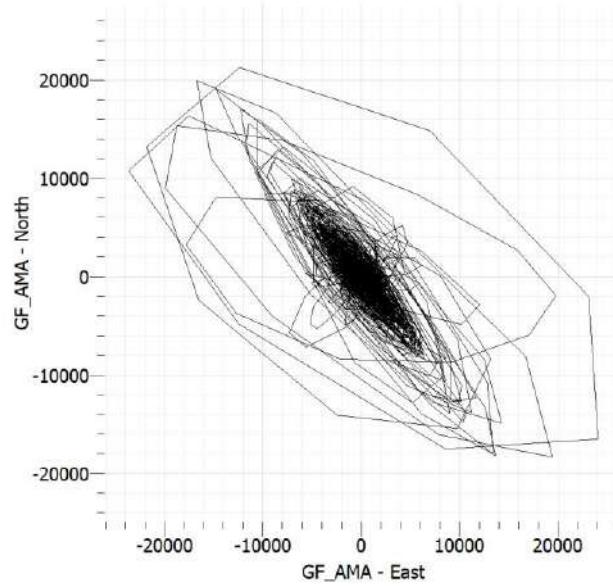


**Gambar 12.** Windowing MS-H1-1



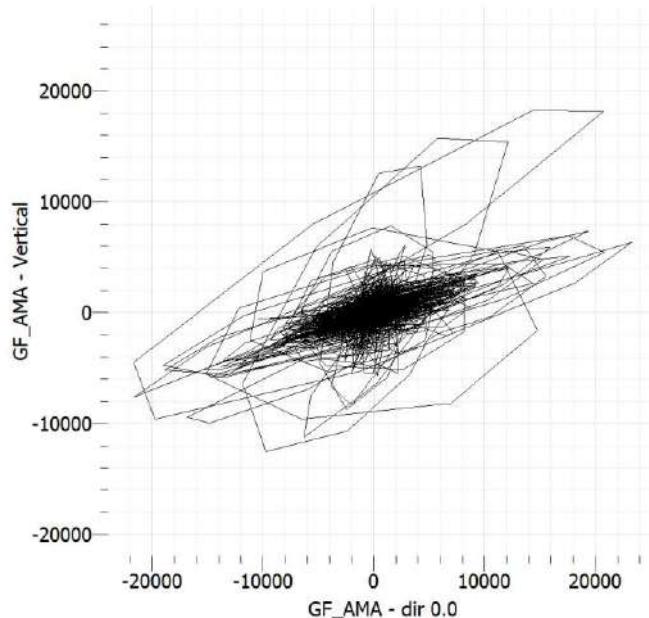
**Gambar 13.** Kurva H/V titik MS-H1-1

Pada gambar 13 yaitu menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada kisaran frekuensi 11.4217 yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 14.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H1-1

Berdasarkan Gambar 14 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Tenggara-Barat Laut secara beraturan dengan Panjang 6184.66 meter.



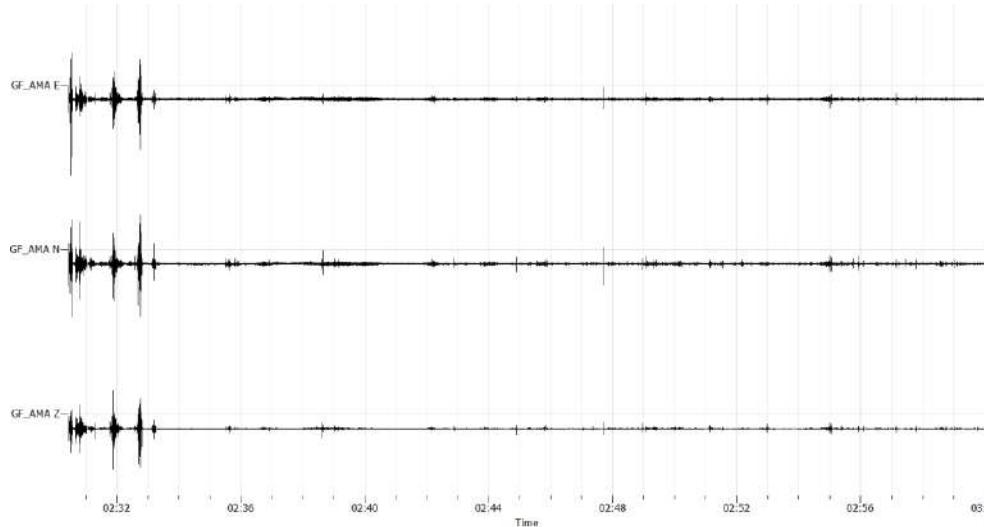
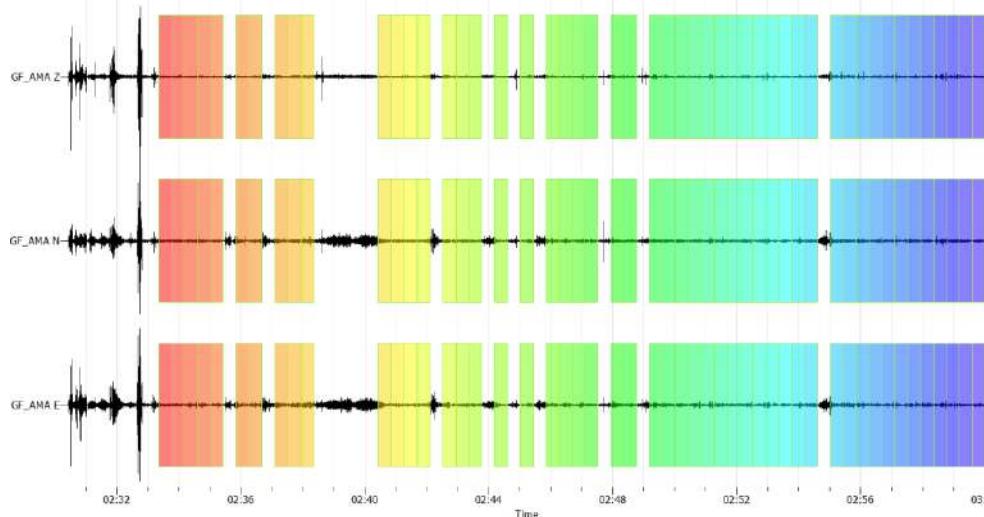
**Gambar 15.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H1-1

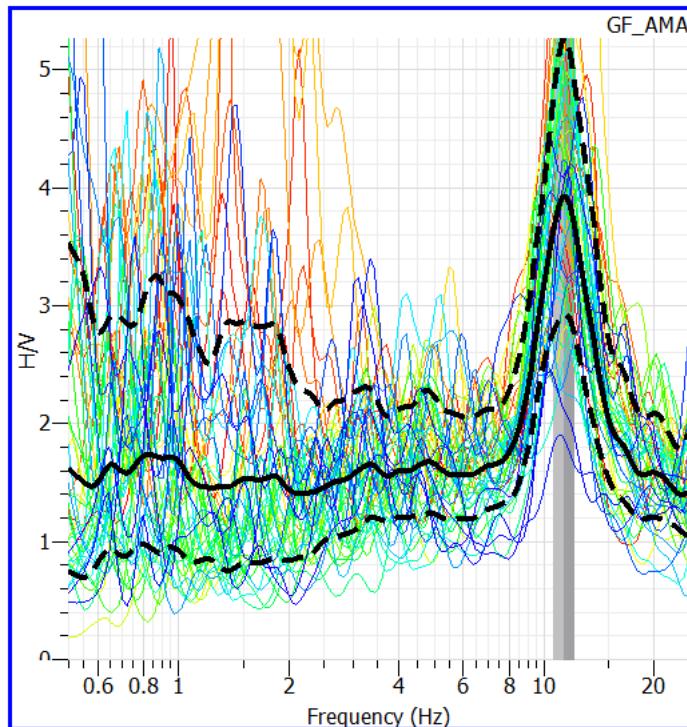
Berdasarkan Gambar 15 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Barat Daya – Timur Laut secara beraturan dengan Panjang 5491.81 meter.

### **Titik MS-H1-2**

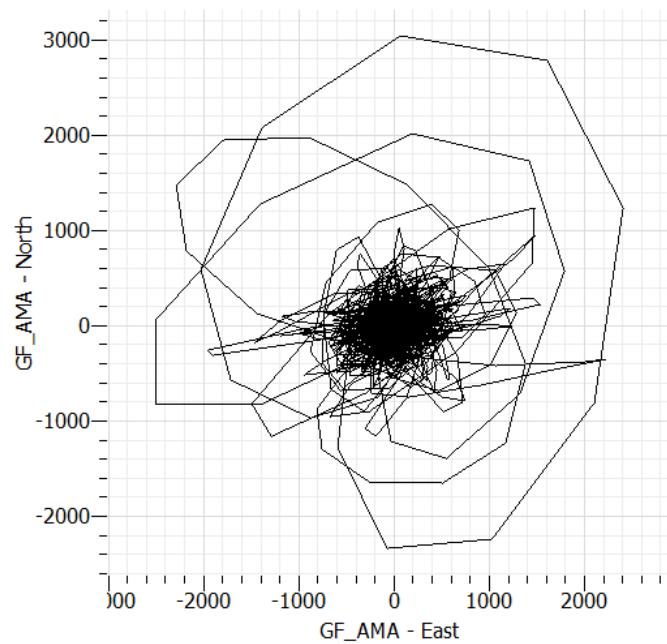
Pada tahap awal adalah proses *windowing* pada data mikrotremor MS-H1-2 berada pada koordinat 451416 E dan 9400010 S pada zona 48 S dengan elevasi 146 meter, proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses *windowing*, dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal umtuk dapat memudahkan dalam proses penghapusan *event*. Pada gambar dibawah ini merupakan kurva H/V untuk data MS-H1-2.

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1_31	GF_AMA	East	2023-06-18 02:30:25.874300	2023-06-18 03:00:01.475862	128	0.0078125	227277	29m35.601563s	0	0
2_32	GF_AMA	North	2023-06-18 02:30:25.874300	2023-06-18 03:00:01.475862	128	0.0078125	227277	29m35.601563s	0	0
3_33	GF_AMA	Vertical	2023-06-18 02:30:25.874300	2023-06-18 03:00:01.475862	128	0.0078125	227277	29m35.601563s	0	0

**Gambar 16.** Data MS-H1-2**Gambar 17.** Data sinyal MS-H1-2**Gambar 18.** Windowing MS-H1-2

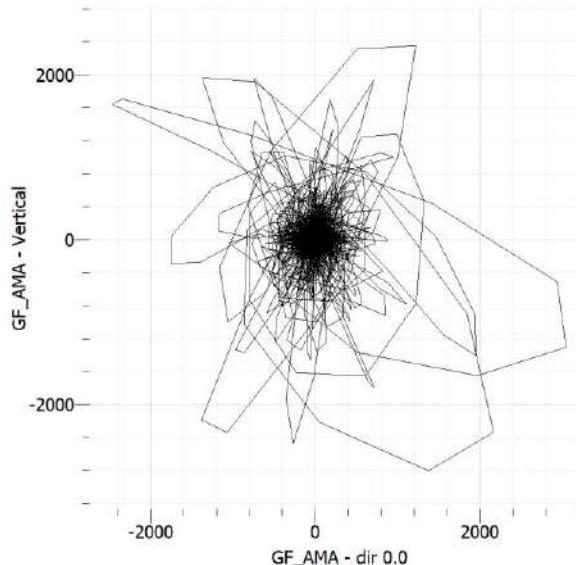


**Gambar 19.** Kurva H/V titik MS-H1-2



**Gambar 20.** Partikel motion horizontal titik MS-H1-2

Berdasarkan Gambar 20 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Barat Daya – Timur Laut secara beraturan dengan Panjang 7291.78 meter.



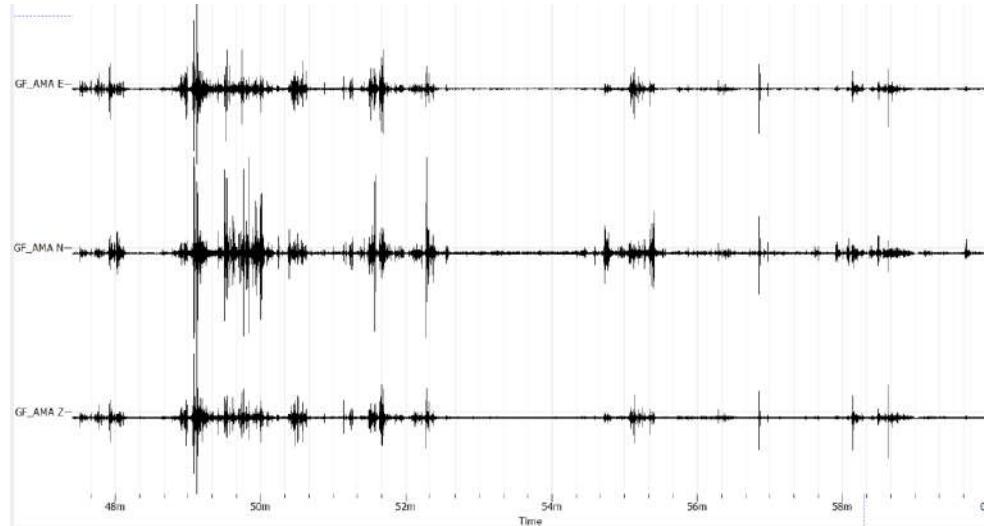
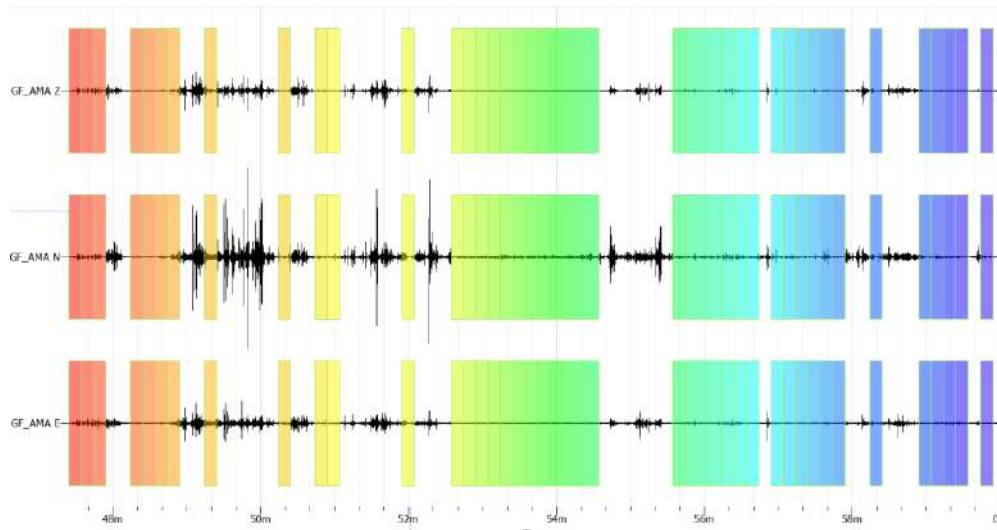
**Gambar 21.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H1-2

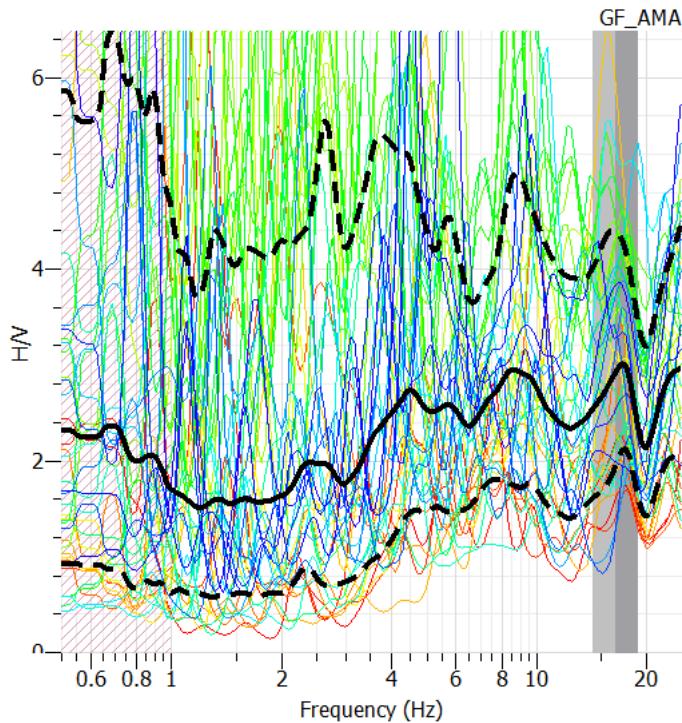
Berdasarkan Gambar 21 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Utara – Selatan secara beraturan dengan Panjang 7496.81 meter.

### **Titik MS-H1-3**

Pada tahap awal adalah proses *windowing* pada data mikrotremor MS-H1-3 berada pada koordinat 451700 E dan 9400150 S pada zona 48S dengan elevasi 175 meter, proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses *windowing*, dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal umtuk dapat memudahkan dalam proses penghapusan *event*. Pada gambar dibawah ini merupakan kurva H/V untuk data MS-H1-3.

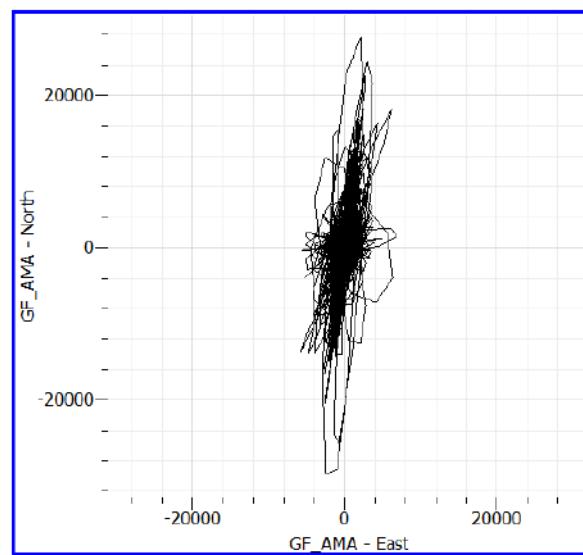
ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1 70	GF_AMA	East	2023-06-18 03:47:24.031700	2023-06-18 04:00:00.664512	128	0.0078125	96849	12m36.632813s	0	0
2 71	GF_AMA	North	2023-06-18 03:47:24.031700	2023-06-18 04:00:00.664512	128	0.0078125	96849	12m36.632813s	0	0
3 72	GF_AMA	Vertical	2023-06-18 03:47:24.031700	2023-06-18 04:00:00.664512	128	0.0078125	96849	12m36.632813s	0	0

**Gambar 22.** Data MS-H1-3**Gambar 23.** Data sinyal MS-H1-3**Gambar 24.** Windowing MS-H1-3



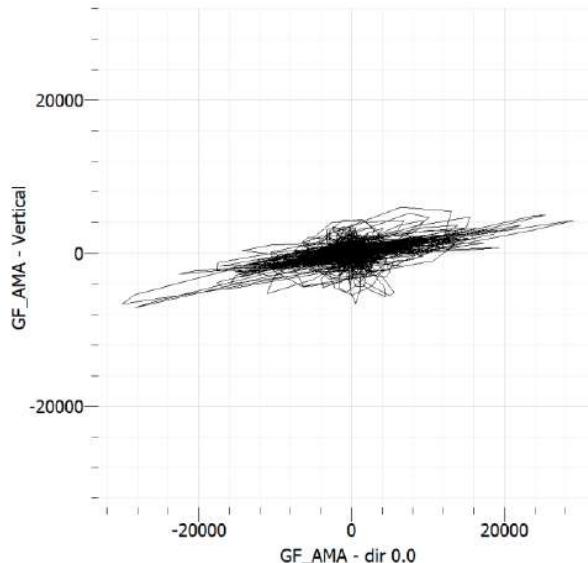
**Gambar 25.** Kurva H/V titik MS-H1-3

Gambar 25 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada kisaran frekuensi 16.3697 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 26.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H1-3

Berdasarkan Gambar 26 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Utara-Selatan secara beraturan dengan Panjang 5922.84 meter.



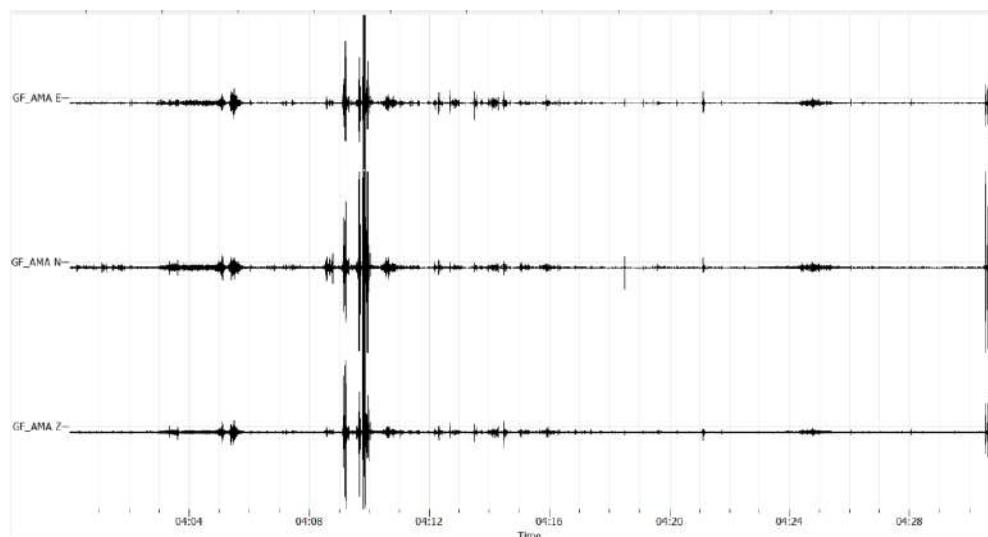
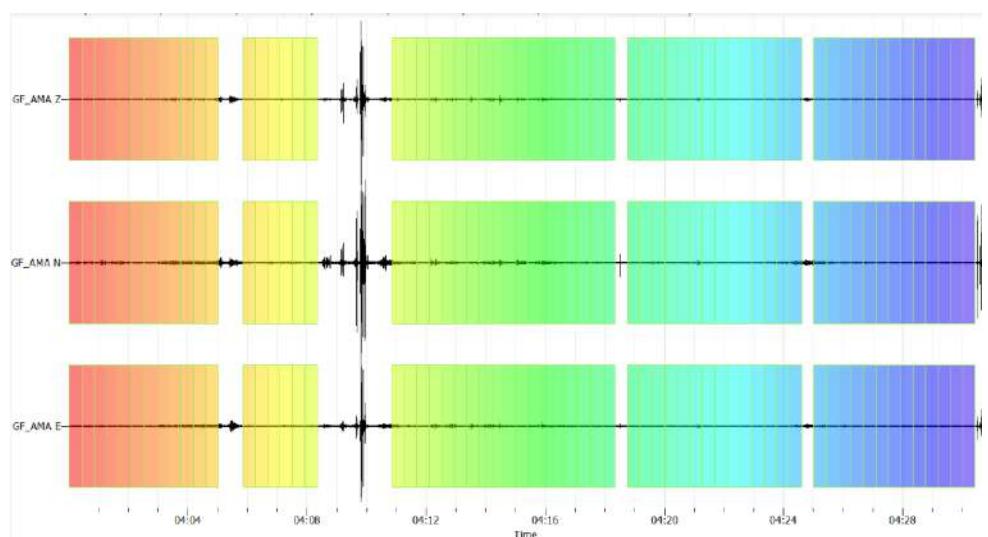
**Gambar 27.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H1-3

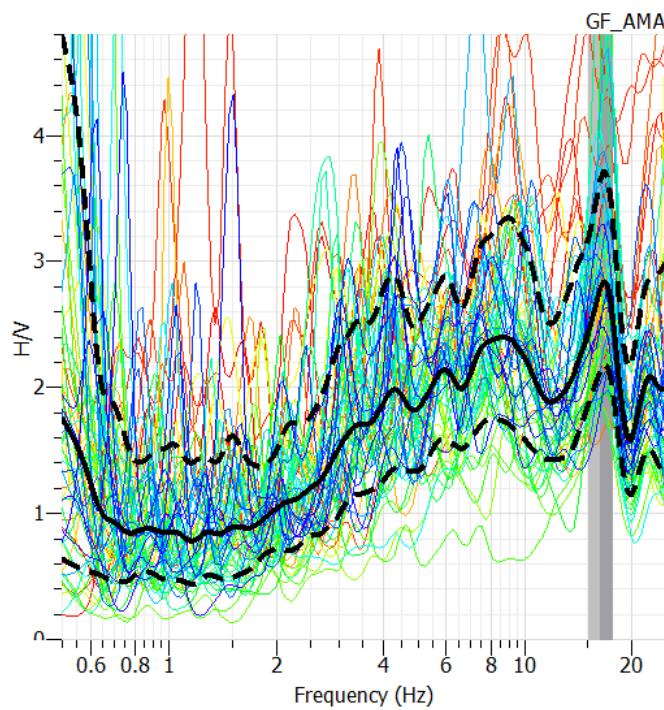
Berdasarkan Gambar 27 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Barat Daya – Timur Laut secara beraturan dengan Panjang 5922.84 meter.

#### **Titik MS-H1-4**

Titik pengukuran microtremor MS-H1-4 berada pada koordinat 452008 E dan 9400529 S pada zona 48S dengan elevasi 195 meter. Ditahap awal proses windowing pada data mikrotremor MS-H1-4. Proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses *windowing* dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal agar memudahkan dalam proses penghapusan *event*.

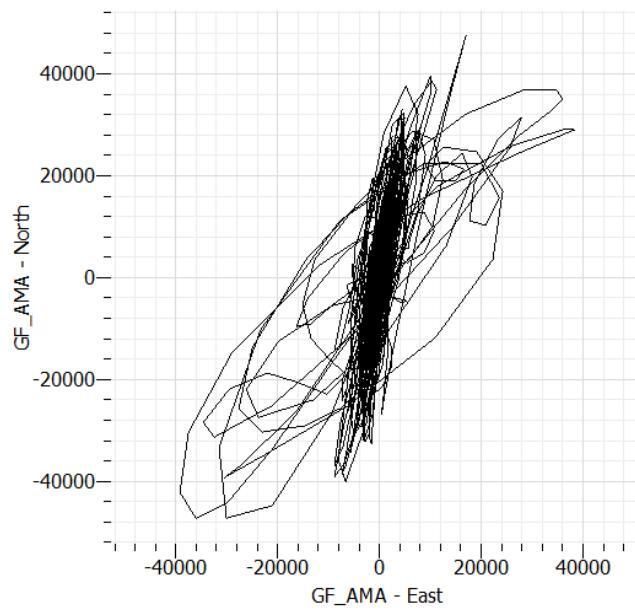
ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1 91	GF_AMA	East	2023-06-18 04:00:00.662100	2023-06-18 04:30:39.912100	128	0.0078125	235424	30m39.250000s	0	0
2 92	GF_AMA	North	2023-06-18 04:00:00.662100	2023-06-18 04:30:39.912100	128	0.0078125	235424	30m39.250000s	0	0
3 93	GF_AMA	Vertical	2023-06-18 04:00:00.662100	2023-06-18 04:30:39.912100	128	0.0078125	235424	30m39.250000s	0	0

**Gambar 28.** Data MS-H1-4**Gambar 29.** Data sinyal MS-H1-4**Gambar 30.** Windowing MS-H1-4



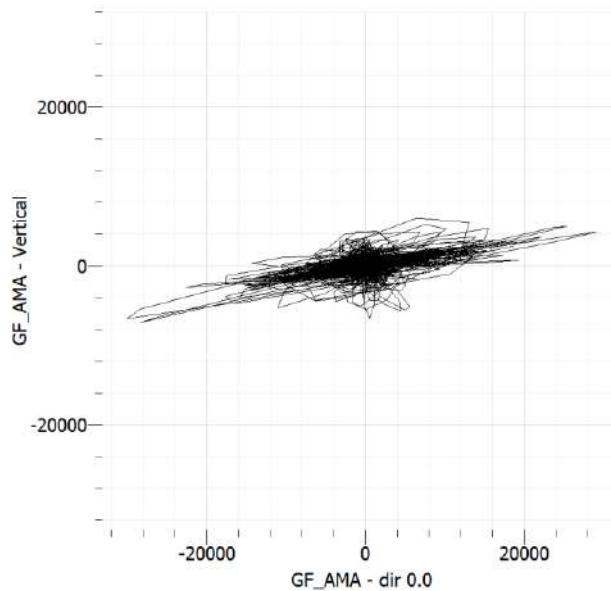
**Gambar 31.** Kurva H/V titik MS-H1-4

Gambar 31 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada kisaran frekuensi 16.3301 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 32.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H1-4

Berdasarkan Gambar 32 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Utara-Selatan secara beraturan dengan Panjang 12496.4 meter.



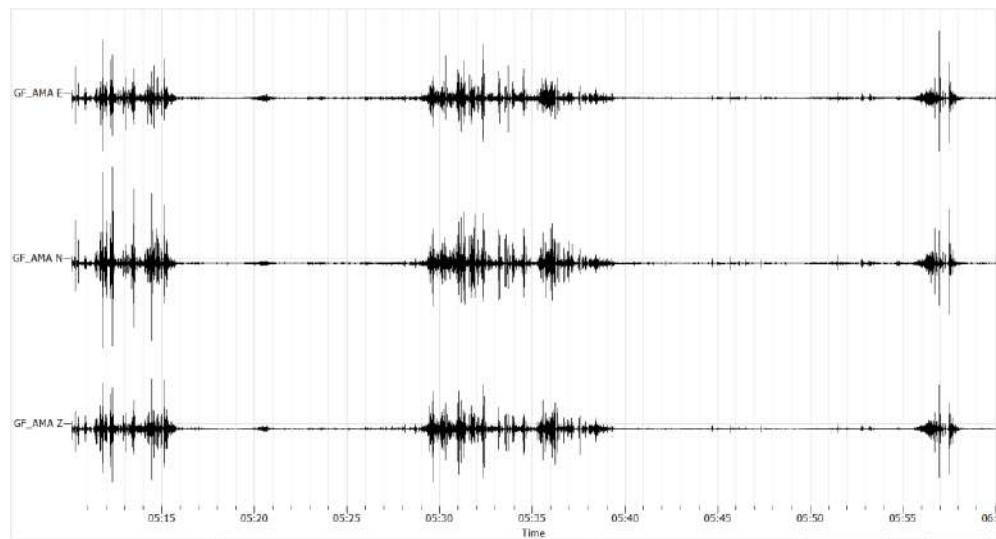
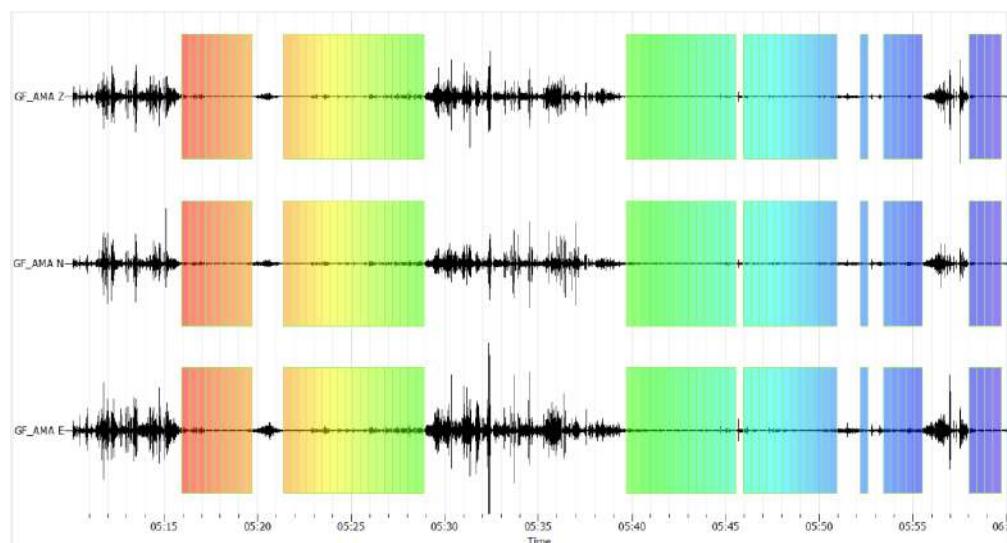
**Gambar 33.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H1-4

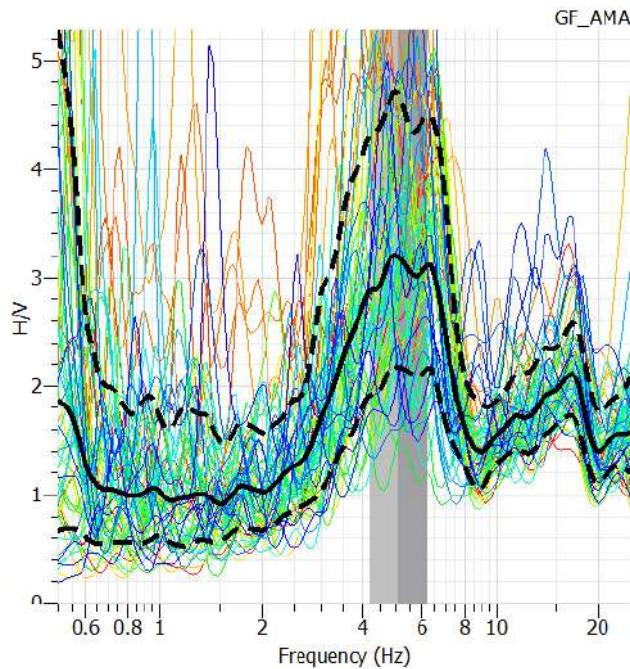
Berdasarkan Gambar 33 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Barat Daya – Timur Laut secara beraturan dengan Panjang 5922.84 meter.

### **Titik MS-H1-5**

Titik pengukuran microtremor MS-H3-2 berada pada koordinat 452296 E dan 9400554 S pada zona 48S dengan elevasi 163 meter. Ditahap awal proses windowing pada data mikrotremor MS-H1-5. Proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses windowing dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal agar memudahkan dalam proses penghapusan *event*.

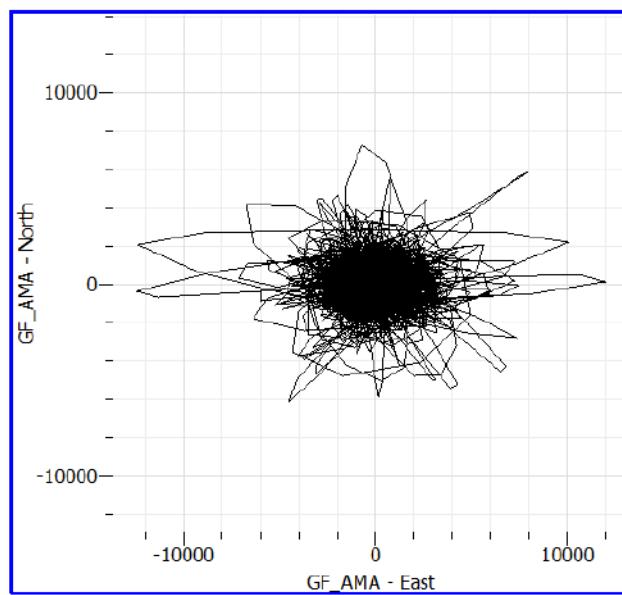
1	121	GF_AMA	East	2023-06-18 05:10:06.427400	2023-06-18 06:00:00.036775	128	0.0078125	383182	49m53.609375s	0	0
2	122	GF_AMA	North	2023-06-18 05:10:06.427400	2023-06-18 06:00:00.036775	128	0.0078125	383182	49m53.609375s	0	0
3	123	GF_AMA	Vertical	2023-06-18 05:10:06.427400	2023-06-18 06:00:00.036775	128	0.0078125	383182	49m53.609375s	0	0

**Gambar 34.** Data MS-H1-5**Gambar 35.** Data sinyal MS-H1-5**Gambar 36.** Windowing MS-H1-5



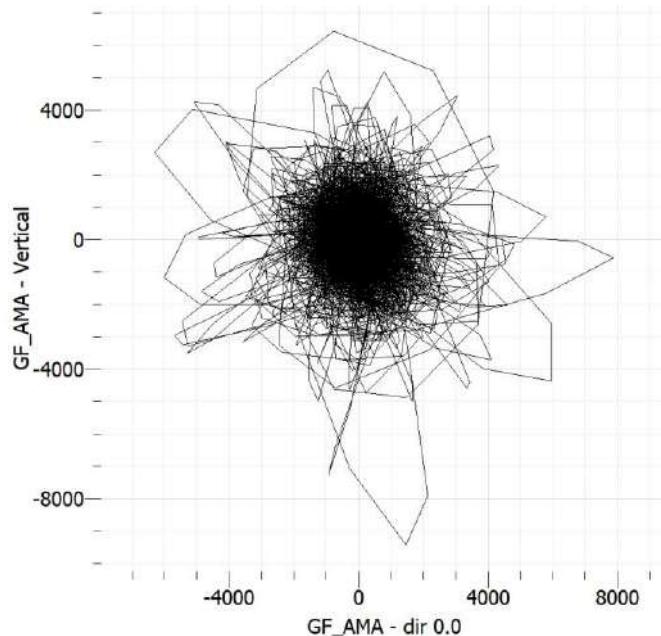
**Gambar 37.** Kurva H/V titik MS-H1-5

Gambar 37 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada kisaran frekuensi 5.10841 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 38.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H1-5

Berdasarkan Gambar 38 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Utara-Selatan secara beraturan dengan Panjang 2729.47 meter.



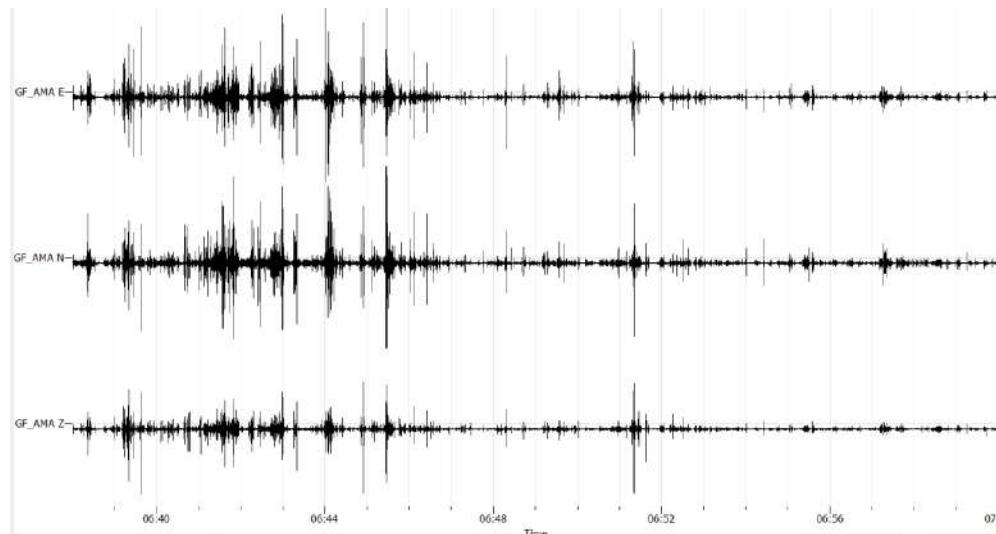
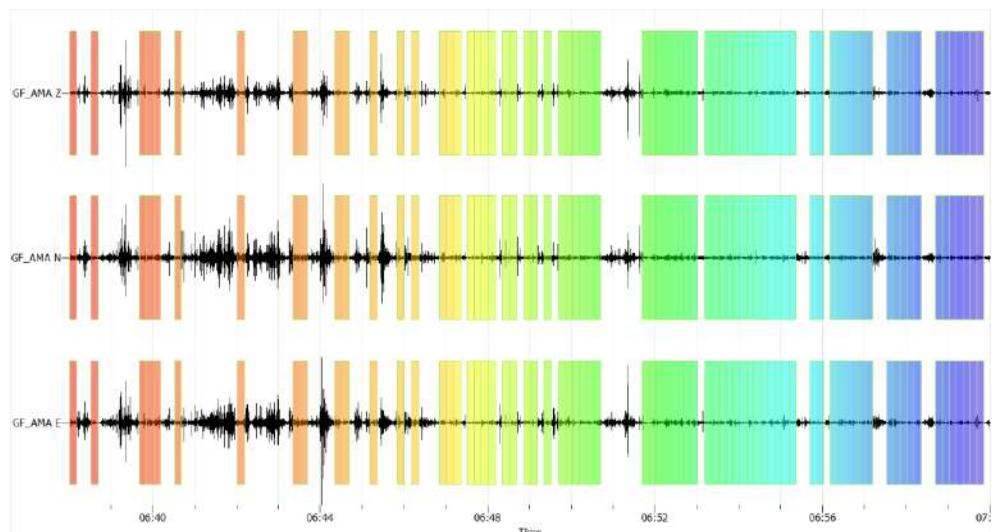
**Gambar 39.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H1-5

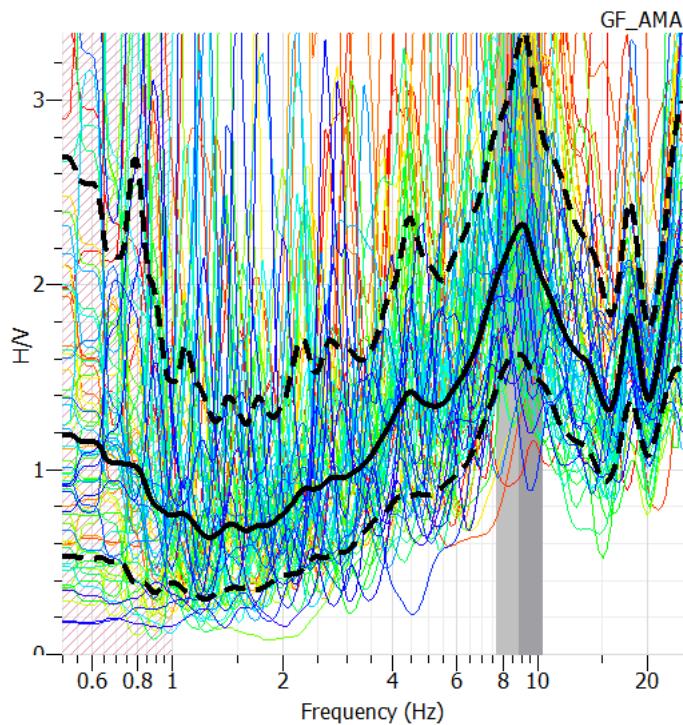
Berdasarkan Gambar 39 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Utara-Selatan secara beraturan dengan Panjang 21260.29 meter.

### **Titik MS-H1-6**

Titik pengukuran microtremor MS-H1-6 berada pada koordinat 451279 E dan 9399658 S pada zona 48S dengan elevasi 128 meter. Ditahap awal proses windowing pada data mikrotremor MS-H1-6. Proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses *windowing* dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal agar memudahkan dalam proses penghapusan *event*.

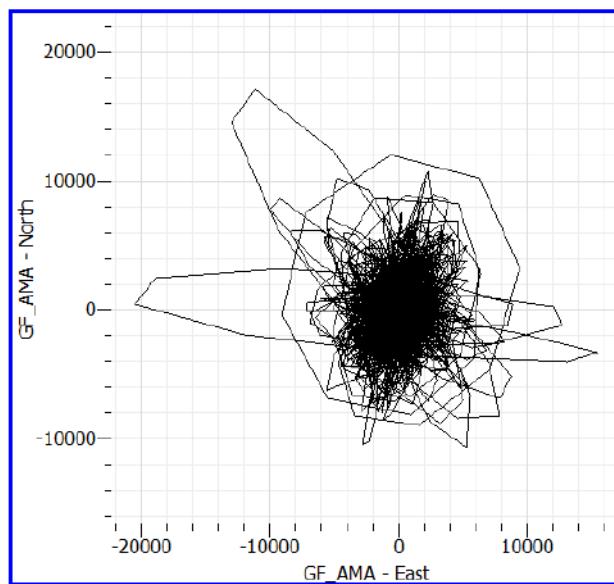
ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Recx	Recy	
1_142	GF_AMA	East	2023-06-18 06:38:00.744500	2023-06-18 07:00:00.736687	128		0.0078125	168959	21m59.992188s	0	0
2_143	GF_AMA	North	2023-06-18 06:38:00.744500	2023-06-18 07:00:00.736687	128		0.0078125	168959	21m59.992188s	0	0
3_144	GF_AMA	Vertical	2023-06-18 06:38:00.744500	2023-06-18 07:00:00.736687	128		0.0078125	168959	21m59.992188s	0	0

**Gambar 40.** Data MS-H1-6**Gambar 41.** Data sinyal MS-H1-6**Gambar 42.** Windowing MS-H1-6



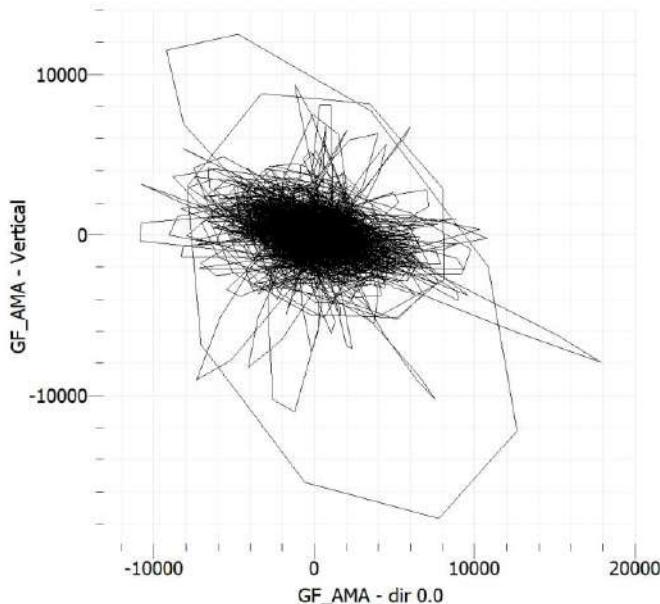
**Gambar 43.** Kurva H/V titik MS-H1-6

Gambar 43 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada kisaran frekuensi 8.90848 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 44.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H1-6

Berdasarkan Gambar 44 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Barat Daya – Timur Laut secara beraturan dengan Panjang 5385.16 meter.



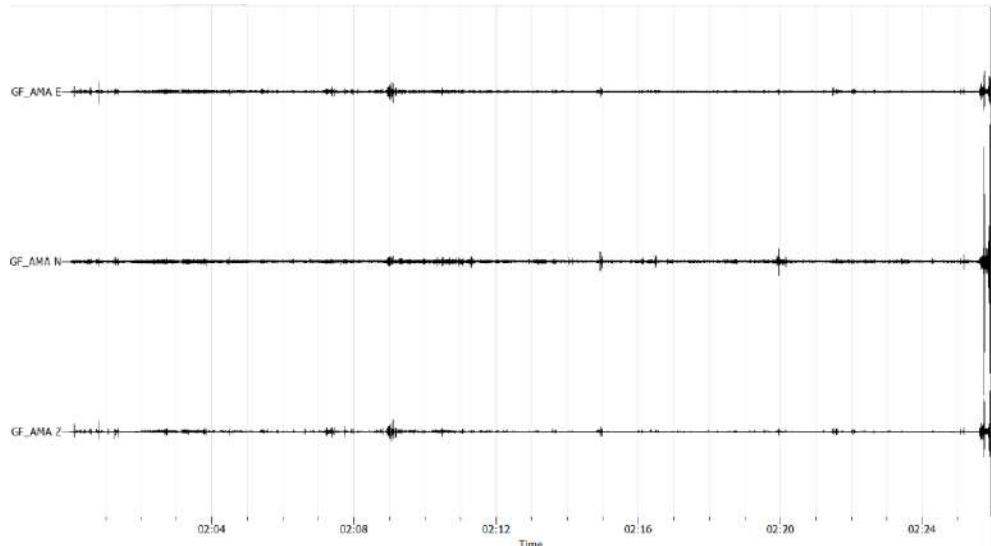
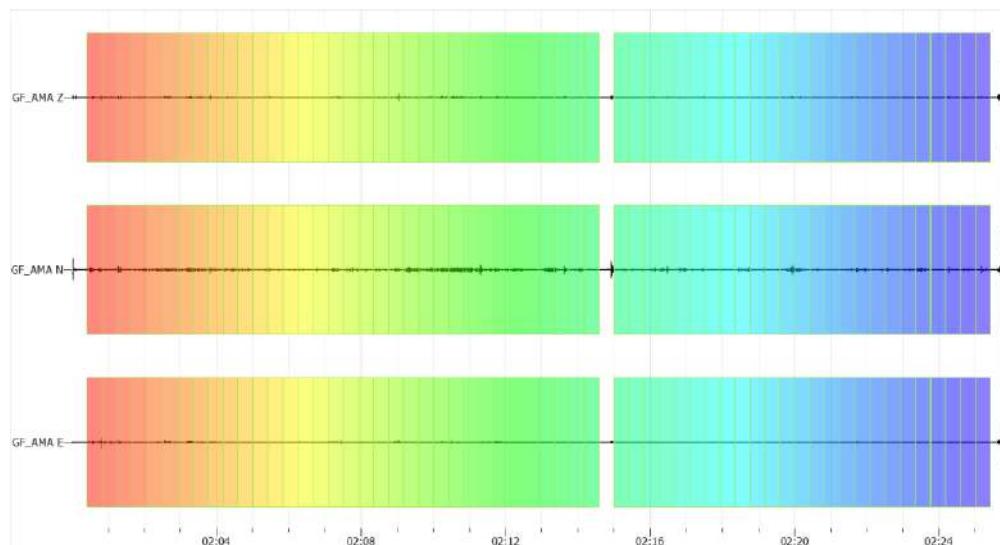
**Gambar 45.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H1-6

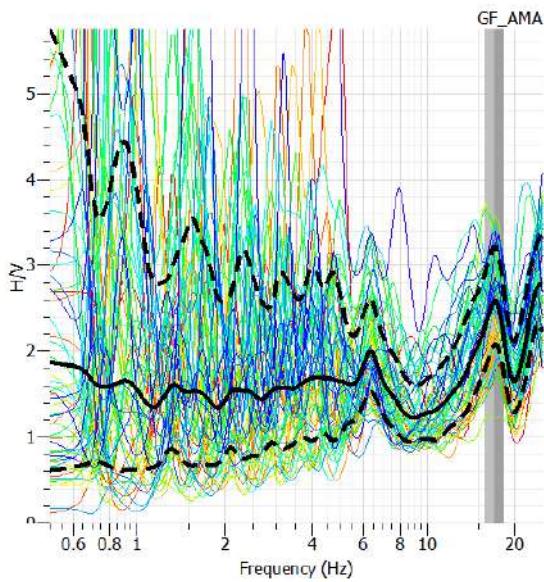
Berdasarkan Gambar 45 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Tenggara – Barat Laut secara beraturan dengan Panjang 4318.56 meter.

### **Titik MS-H2-1**

Titik pengukuran microtremor MS-H2-1 berada pada koordinat 451520 E dan 9398296 S pada zona 48S dengan elevasi 90 meter. Ditahap awal proses windowing pada data mikrotremor MS-H2-1. Proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses *windowing* dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal agar memudahkan dalam proses penghapusan *event*.

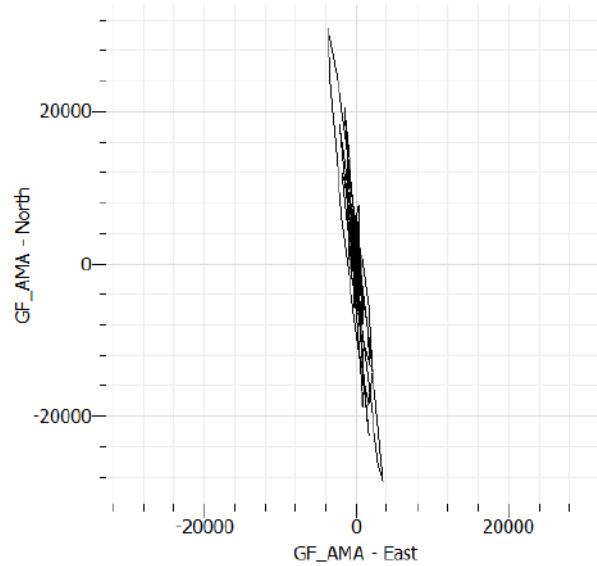
ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1_61	GF_AMA	East	2023-06-20 04:00:01,569500	2023-06-20 04:25:08,319500	128	0,0078125	192864	25m6,750000s	0	0
2_62	GF_AMA	North	2023-06-20 04:00:01,569500	2023-06-20 04:25:08,319500	128	0,0078125	192864	25m6,750000s	0	0
3_63	GF_AMA	Vertical	2023-06-20 04:00:01,569500	2023-06-20 04:25:08,319500	128	0,0078125	192864	25m6,750000s	0	0

**Gambar 46.** Data MS-H2-1**Gambar 47.** Data sinyal MS-H2-1**Gambar 48.** Windowing MS-H2-1



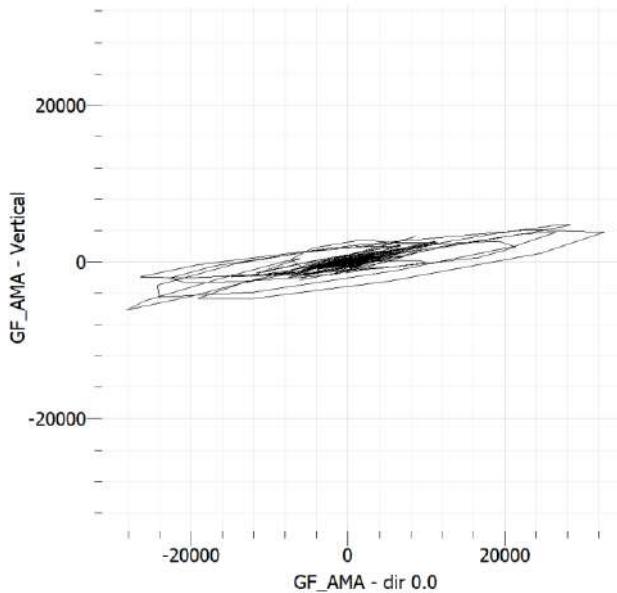
**Gambar 49.** Kurva H/V titik MS-H2-1

Gambar 49 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada frekuensi 16.9403 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 50.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H2-1

Berdasarkan Gambar 26 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Utara-Selatan secara beraturan dengan Panjang 5656.85 meter.



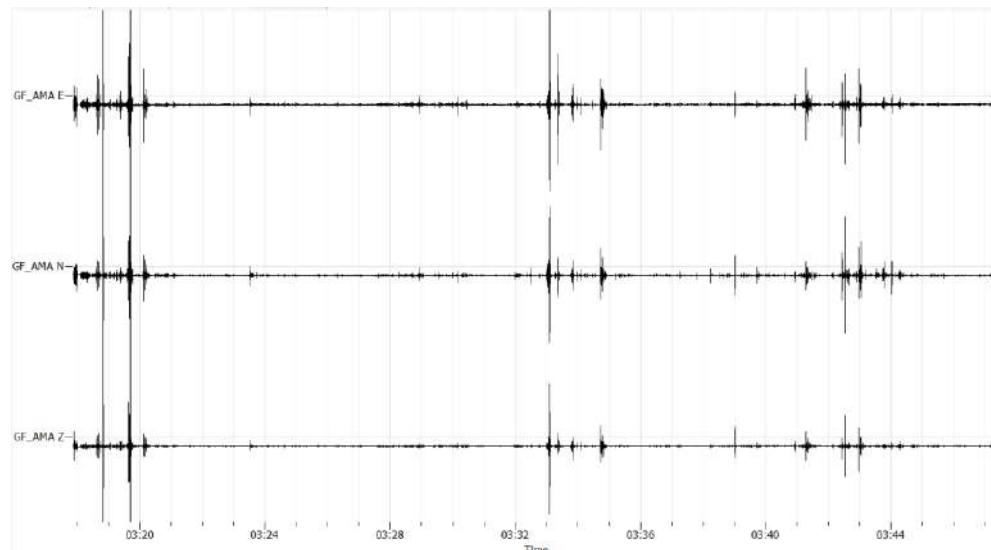
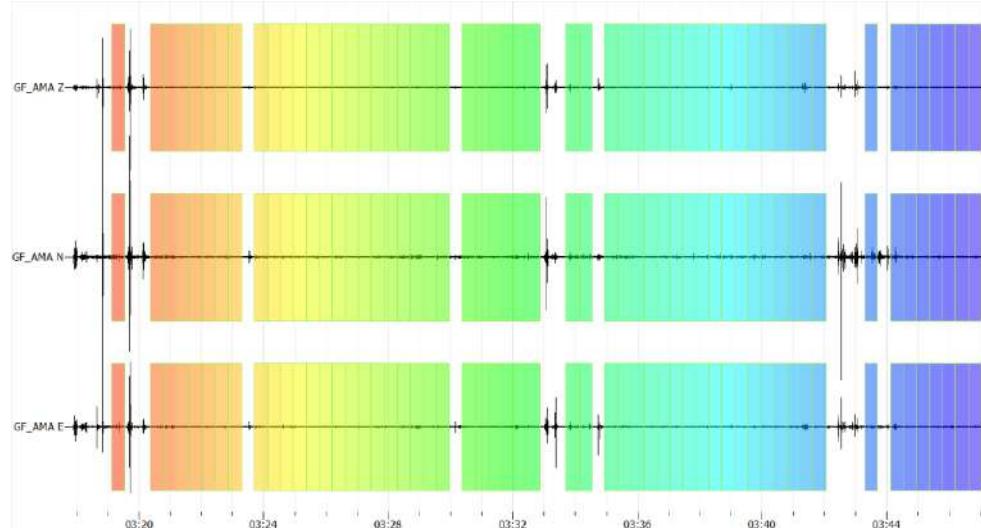
**Gambar 52.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H2-1

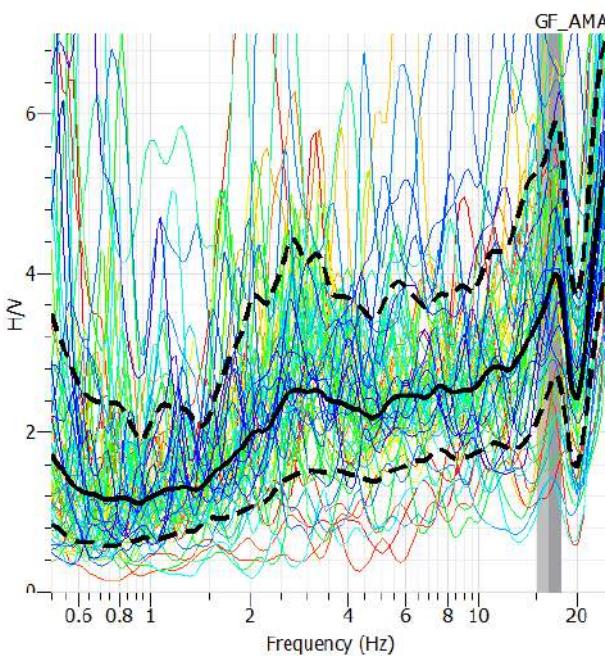
Berdasarkan Gambar 52 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Utara - Selatan secara beraturan dengan Panjang 5656.85 meter.

### **Titik MS-H2-2**

Titik pengukuran microtremor MS-H2-2 berada pada koordinat 451421 E dan 9398971 S pada zona 48S dengan elevasi 101 meter. Ditahap awal proses windowing pada data mikrotremor MS-H2-2. Proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses *windowing* dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal agar memudahkan dalam proses penghapusan *event*.

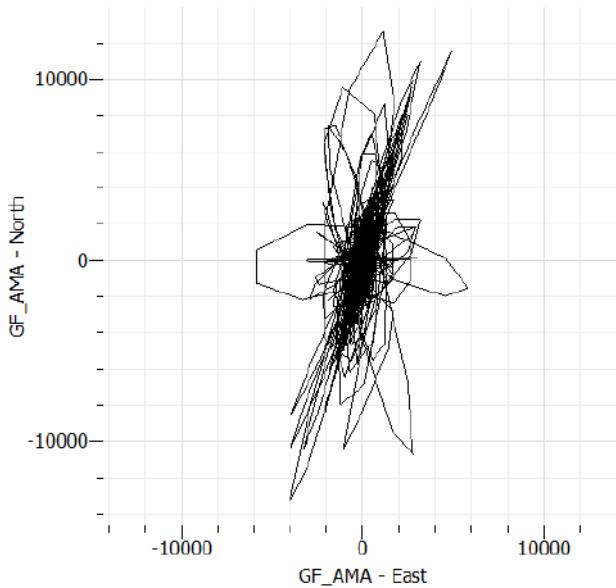
ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1_100	GF_AMA	East	2023-06-19 03:17:51.956000	2023-06-19 03:47:29.526312	128	0.0078125	227529	29m37.570313s	0	0
2_101	GF_AMA	North	2023-06-19 03:17:51.956000	2023-06-19 03:47:29.526312	128	0.0078125	227529	29m37.570313s	0	0
3_102	GF_AMA	Vertical	2023-06-19 03:17:51.956000	2023-06-19 03:47:29.526312	128	0.0078125	227529	29m37.570313s	0	0

**Gambar 52.** Data MS-H2-2**Gambar 53 .Data sinyal MS-H2-2****Gambar 54. Windowing MS-H2-2**



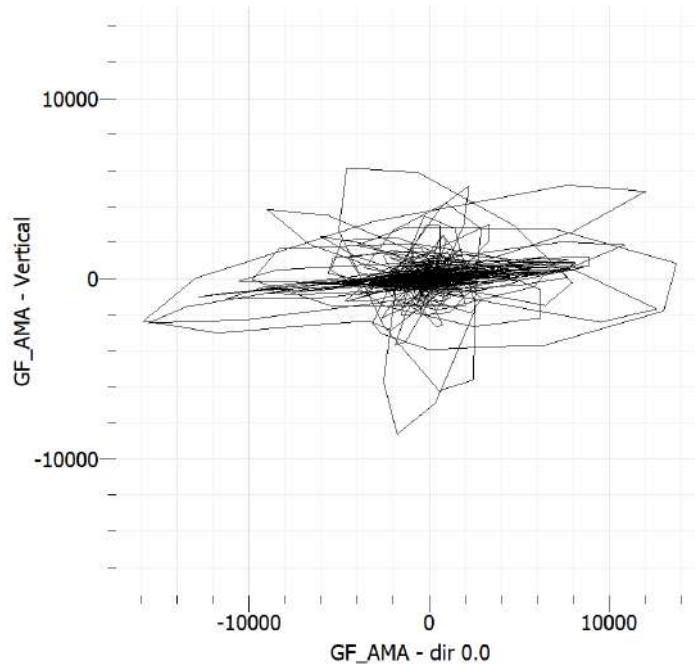
**Gambar 55.** Kurva H/V titik MS-H2-2

Gambar 55 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada kisaran frekuensi 16.4561 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 56.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H2-2

Berdasarkan Gambar 56 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Barat Daya – Timur Laut secara beraturan dengan Panjang 2773.08 meter.



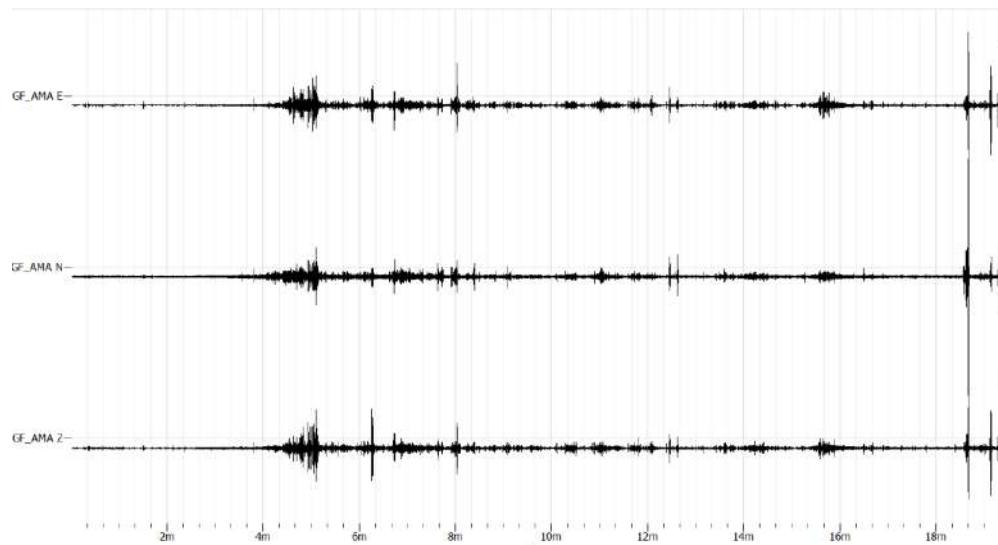
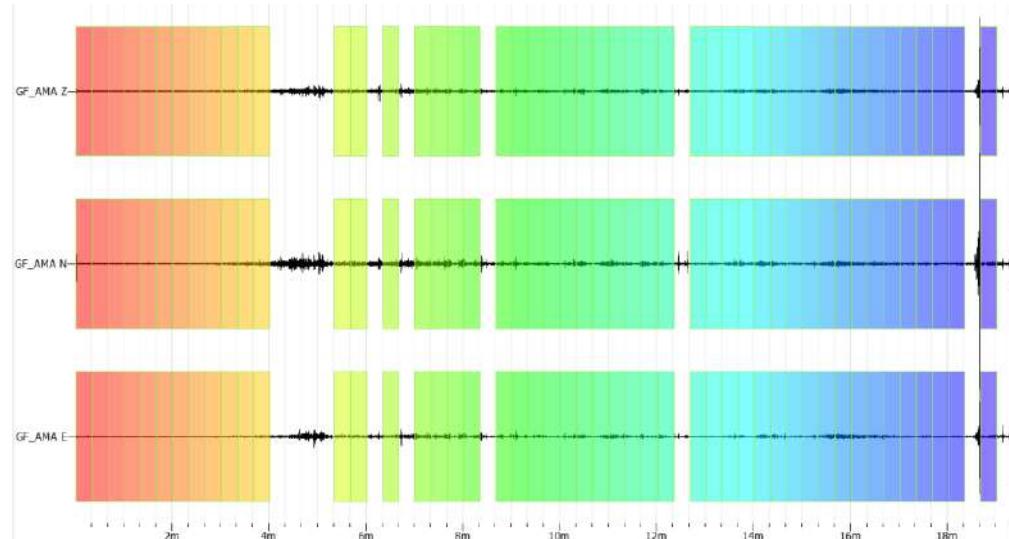
**Gambar 57.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H2-2

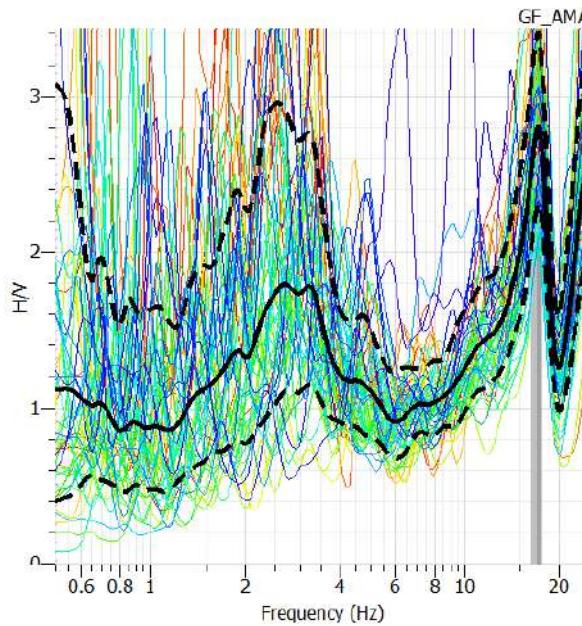
Berdasarkan Gambar 57 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Utara - Selatan secara beraturan dengan Panjang 3310.58 meter.

### **Titik MS-H2-3**

Titik pengukuran microtremor MS-H2-3 berada pada koordinat 451892 E dan 9399619 S pada zona 48S dengan elevasi 237 meter. Ditahap awal proses windowing pada data mikrotremor MS-H2-3. Proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses *windowing* dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal agar memudahkan dalam proses penghapusan *event*.

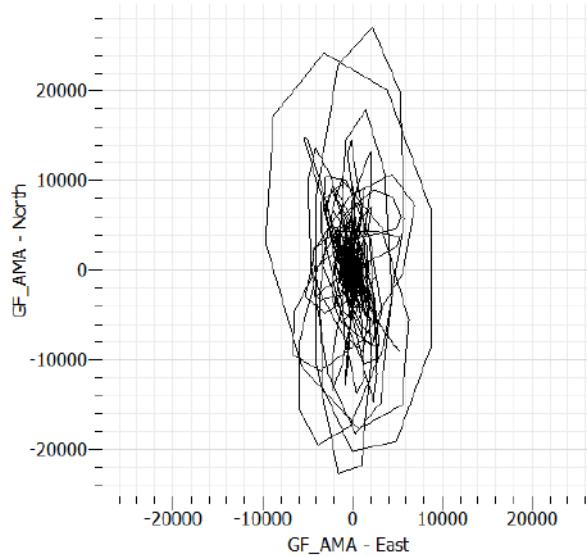
ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1 163	GF_AMA	East	2023-06-19 07:00:01.164000	2023-06-19 07:19:23.164000	128	0.0078125	148736	19m22.000000s	0	0
2 164	GF_AMA	North	2023-06-19 07:00:01.164000	2023-06-19 07:19:23.164000	128	0.0078125	148736	19m22.000000s	0	0
3 165	GF_AMA	Vertical	2023-06-19 07:00:01.164000	2023-06-19 07:19:23.164000	128	0.0078125	148736	19m22.000000s	0	0

**Gambar 58.** Data MS-H2-3**Gambar 59.** Data sinyal MS-H2-3**Gambar 60.** Windowing MS-H2-3



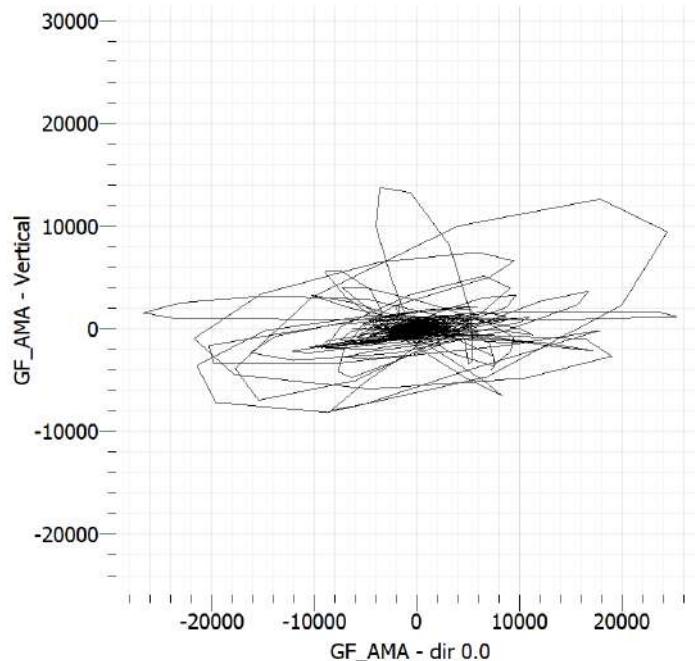
**Gambar 61.** Kurva H/V titik MS-H2-3

Gambar 61 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada kisaran frekuensi 16.9647 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 62.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H2-3

Berdasarkan Gambar 62 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Utara-Selatan secara beraturan dengan Panjang 5255.47 meter.



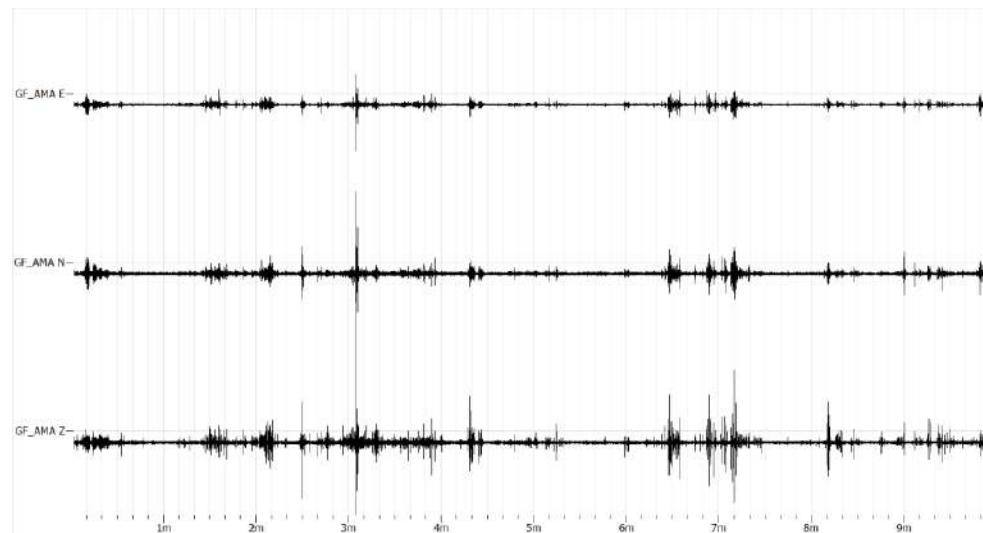
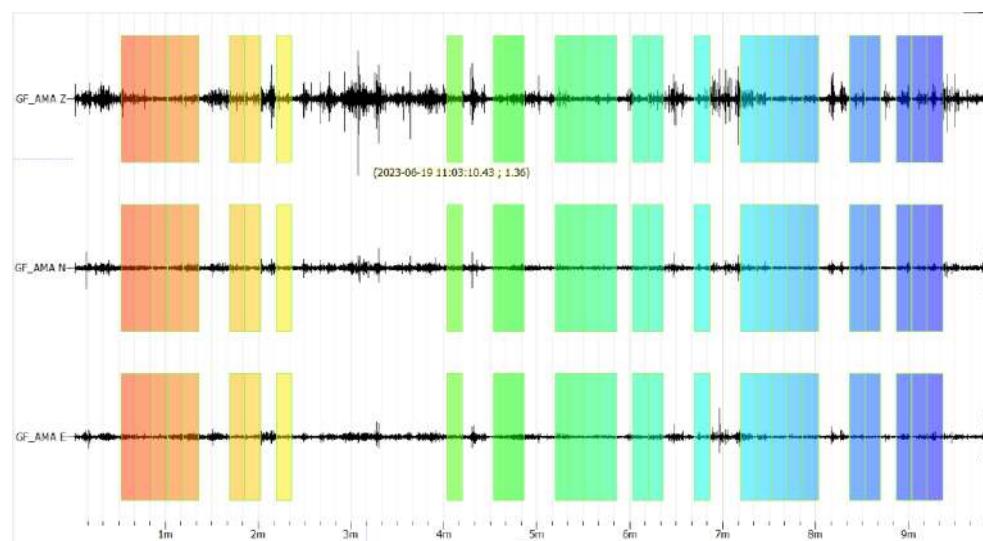
**Gambar 63.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H2-3

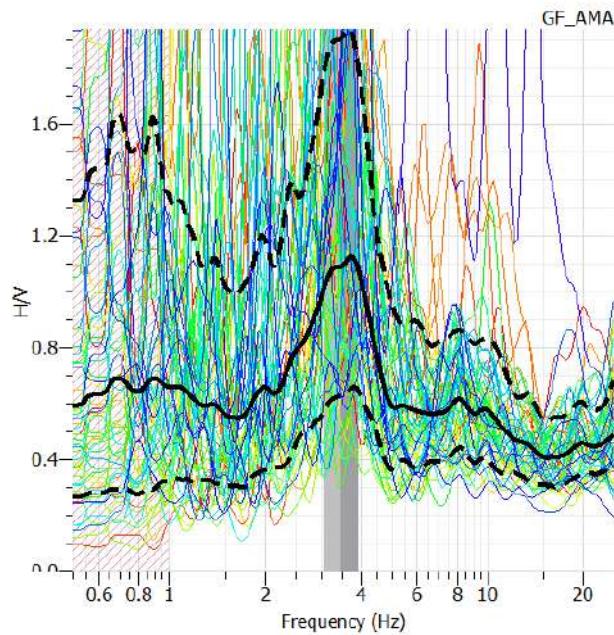
Berdasarkan Gambar 63 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Utara - Selatan secara beraturan dengan Panjang 5646.23 meter.

#### **Titik MS-H2-4**

Titik pengukuran microtremor MS-H2-4 berada pada koordinat 452413 E dan 9399965 S pada zona 48S dengan elevasi 312 meter. Ditahap awal proses windowing pada data mikrotremor MS-H2-4. Proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses windowing dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal agar memudahkan dalam proses penghapusan *event*.

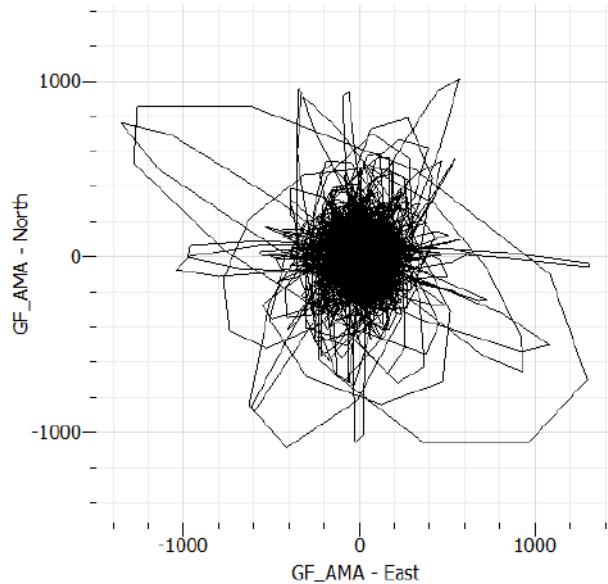
ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1_211	GF_AMA	East	2023-06-19 11:00:01.589600	2023-06-19 11:09:54.839600	128	0.0078125	75936	9m53.250000s	0	0
2_212	GF_AMA	North	2023-06-19 11:00:01.589600	2023-06-19 11:09:54.839600	128	0.0078125	75936	9m53.250000s	0	0
3_213	GF_AMA	Vertical	2023-06-19 11:00:01.589600	2023-06-19 11:09:54.839600	128	0.0078125	75936	9m53.250000s	0	0

**Gambar 64.** Data MS-H2-4**Gambar 65.** Data sinyal MS-H2-4**Gambar 66.** Windowing MS-H2-4



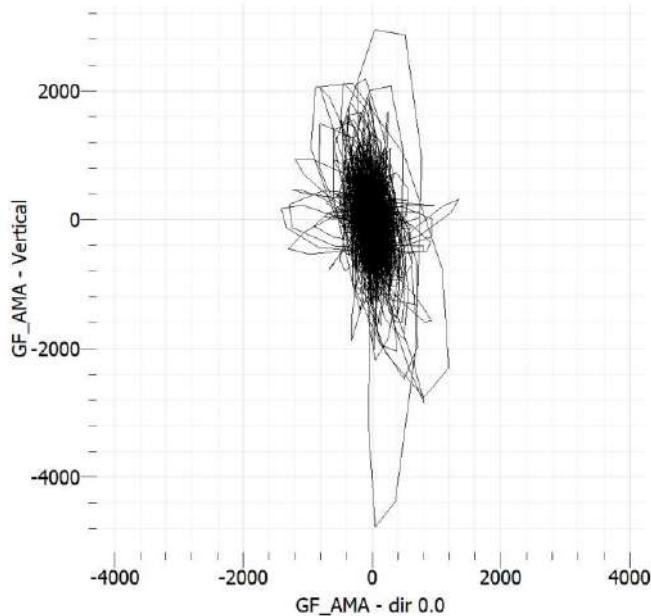
**Gambar 67.** Kurva H/V titik MS-H2-4

Gambar 67 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada kisaran frekuensi 3.46165 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 68.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H2-4

Berdasarkan Gambar 68 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Utara-Selatan secara beraturan dengan Panjang 5255.47 meter.



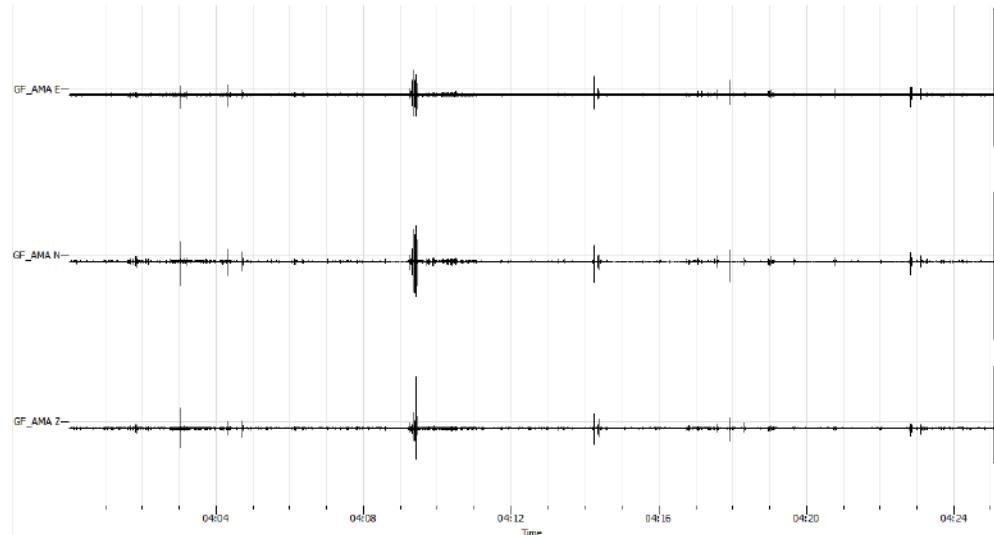
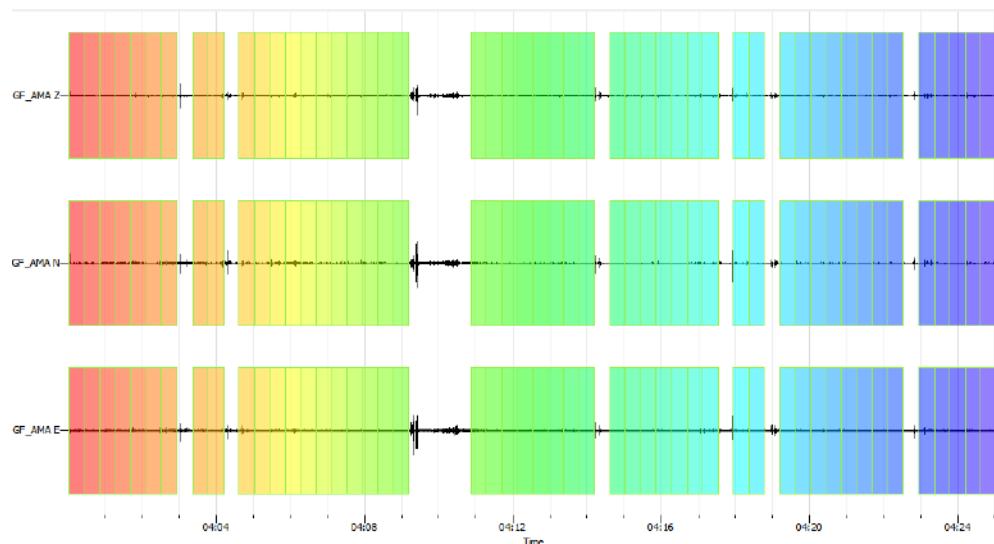
**Gambar 69.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H2-4

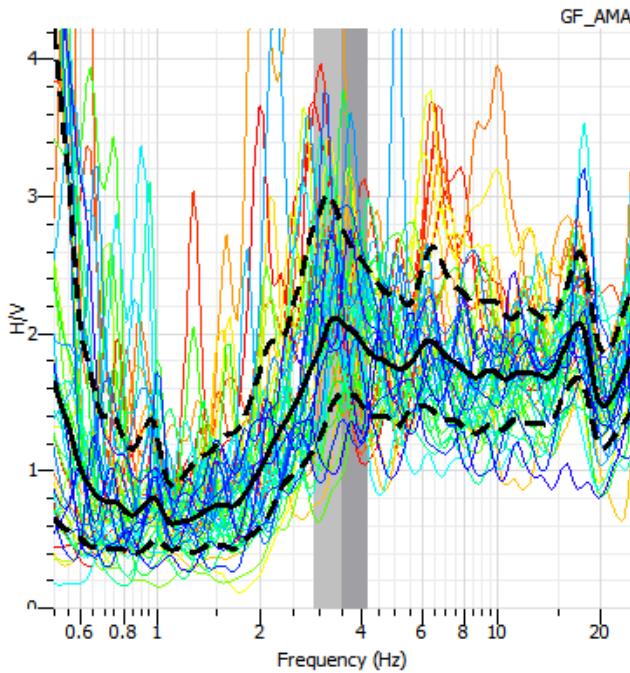
Berdasarkan Gambar 69 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Utara - Selatan secara beraturan dengan Panjang 8099.38 meter.

### **Titik MS-H3-1**

Titik pengukuran microtremor MS-H3-1 berada pada koordinat 452444 E dan 9400603 S pada zona 48S dengan elevasi 205 meter. Ditahap awal proses windowing pada data mikrotremor MS-H3-1. Proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses windowing dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal agar memudahkan dalam proses penghapusan *event*.

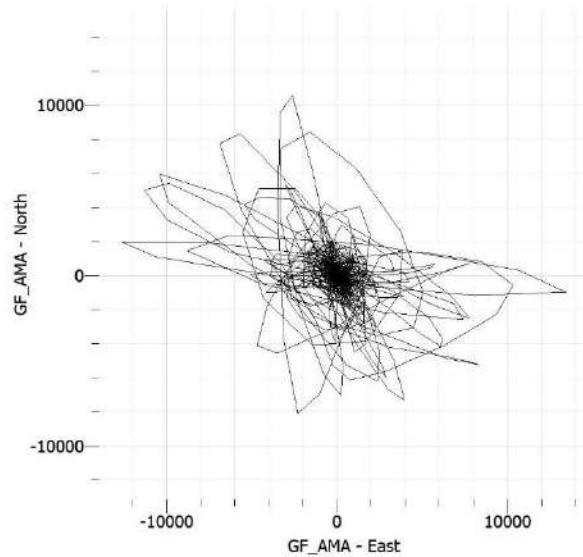
ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1_61	GF_AMA	East	2023-06-20 04:00:01,569500	2023-06-20 04:25:08,319500	128	0,0078125	192864	25m6,750000s	0	0
2_62	GF_AMA	North	2023-06-20 04:00:01,569500	2023-06-20 04:25:08,319500	128	0,0078125	192864	25m6,750000s	0	0
3_63	GF_AMA	Vertical	2023-06-20 04:00:01,569500	2023-06-20 04:25:08,319500	128	0,0078125	192864	25m6,750000s	0	0

**Gambar 70.** Data MS-H3-1**Gambar 71.** Data sinyal MS-H3-1**Gambar 72.** Windowing MS-H3-1



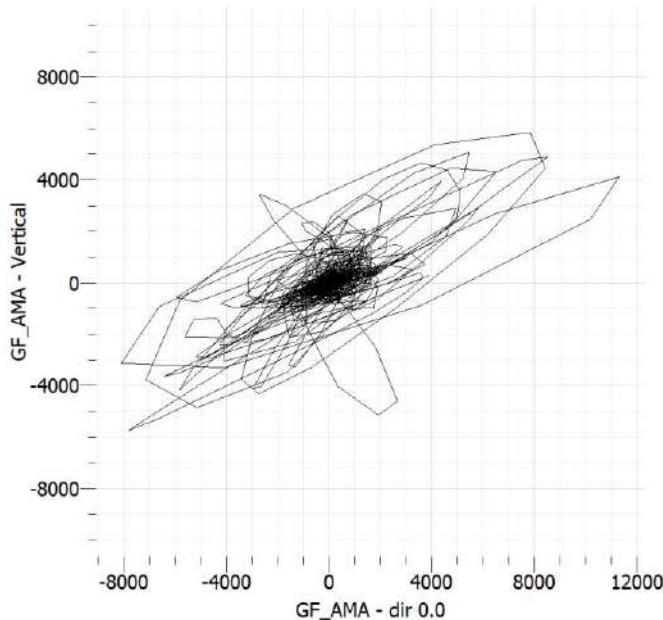
**Gambar 73.** Kurva H/V titik MS-H3-1

Gambar 73 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada frekuensi 3.47809 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 74.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H3-1

Berdasarkan Gambar 74 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Tenggara – Barat Laut secara beraturan dengan Panjang 2920.62 meter.



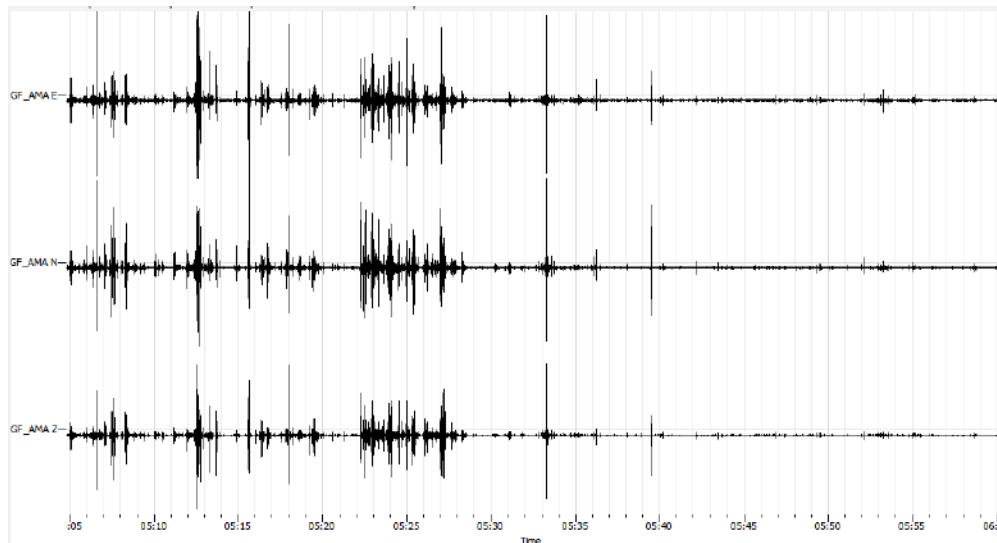
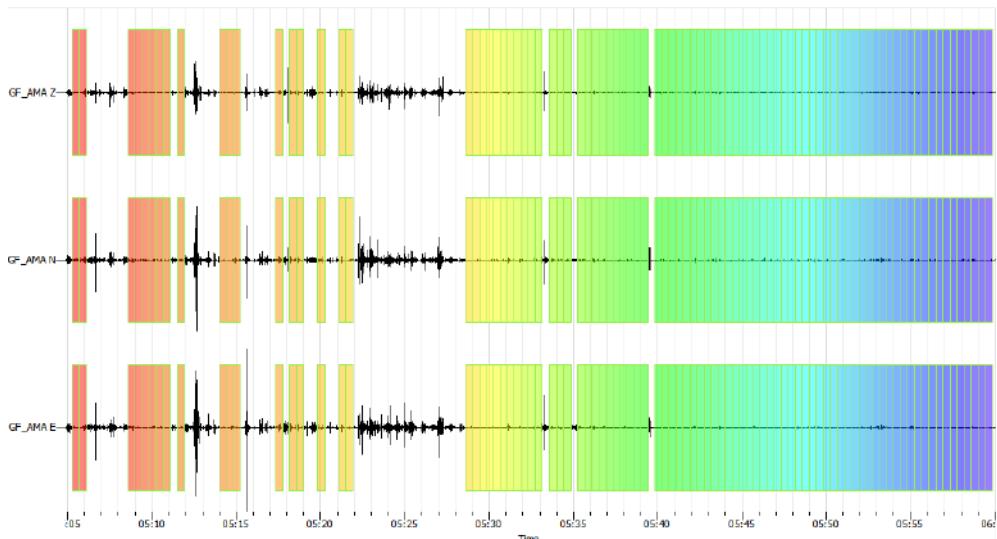
**Gambar 75.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H3-1

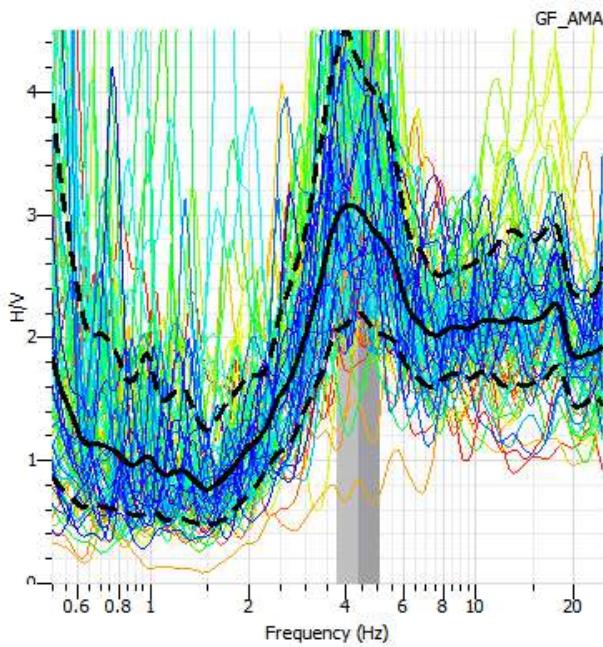
Berdasarkan Gambar 75 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke Barat Daya – Timur Laut secara beraturan dengan Panjang 22472.20 meter.

### **Titik MS-H3-2**

Titik pengukuran microtremor MS-H3-2 berada pada koordinat 452576 E dan 9400685 S pada zona 48S dengan elevasi 222 meter. Ditahap awal proses windowing pada data mikrotremor MS-H3-2. Proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses windowing dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal agar memudahkan dalam proses penghapusan *event*.

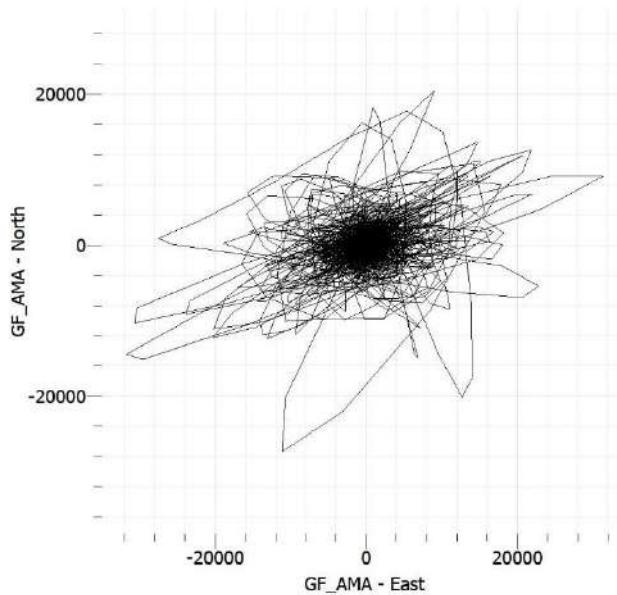
ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1_85	GF_AMA	East	2023-06-20 05:04:49,249800	2023-06-20 06:00:00,765425	128	0,0078125	423874	55m11,515625s	0	0
2_86	GF_AMA	North	2023-06-20 05:04:49,249800	2023-06-20 06:00:00,765425	128	0,0078125	423874	55m11,515625s	0	0
3_87	GF_AMA	Vertical	2023-06-20 05:04:49,249800	2023-06-20 06:00:00,765425	128	0,0078125	423874	55m11,515625s	0	0

**Gambar 76.** Data MS-H3-2**Gambar 77.** Data sinyal MS-H3-2**Gambar 78.** Windowing MS-H3-2



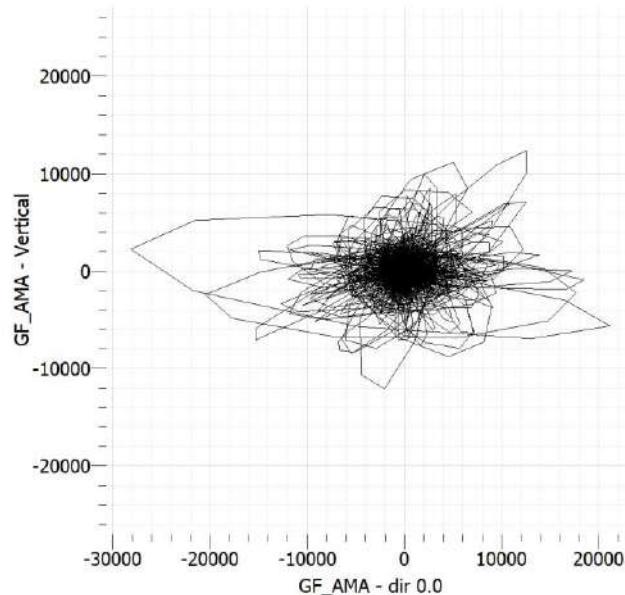
**Gambar 79.** Kurva H/V titik MS-H3-2

Gambar 79 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada kisaran frekuensi 4.37451 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 80.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H3-2

Berdasarkan Gambar 80 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Barat Daya – Timur Laut secara beraturan dengan Panjang 7068.24 meter.



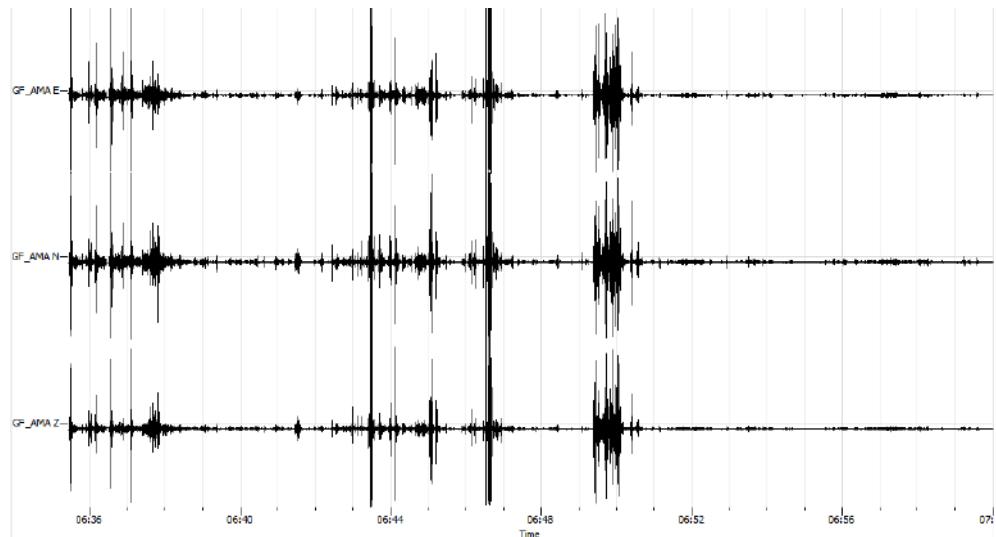
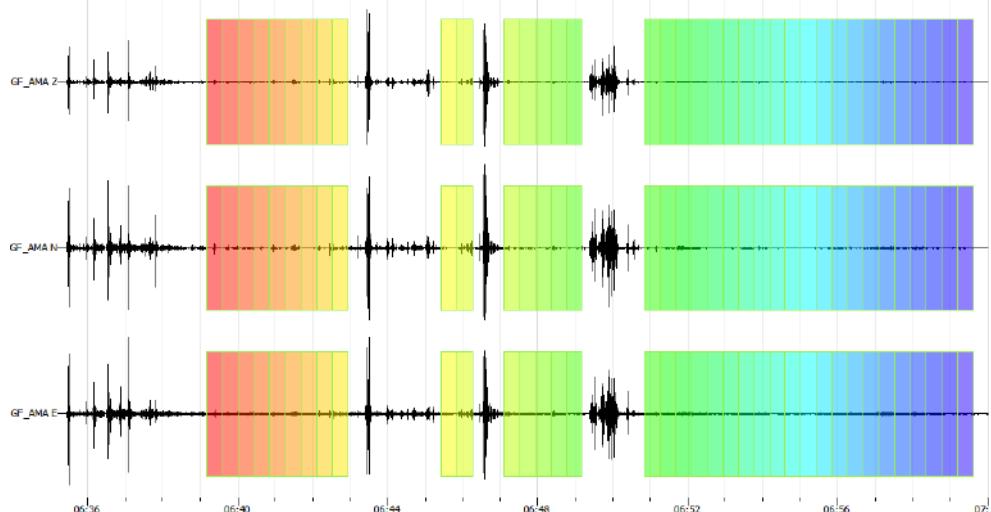
**Gambar 81.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H3-2

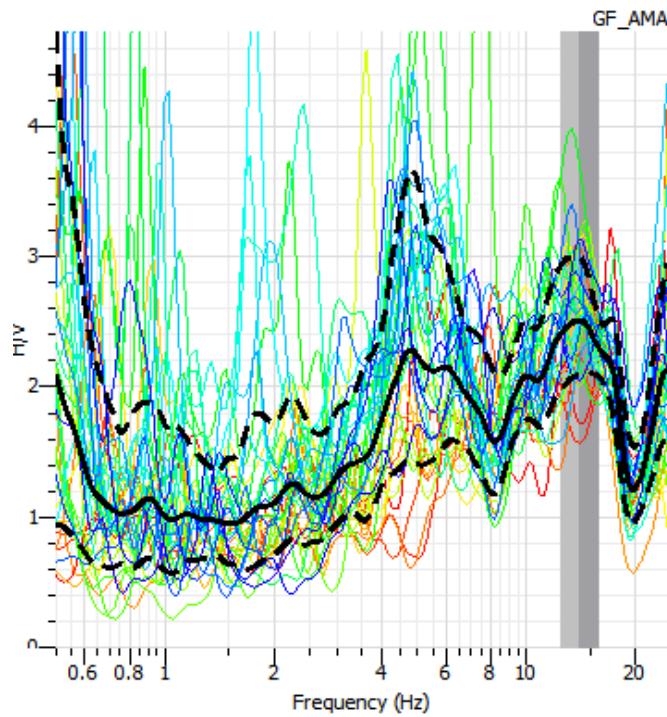
Berdasarkan Gambar 81 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Utara - Selatan secara beraturan dengan Panjang 5456.190 meter.

### **Titik MS-H3-3**

Titik pengukuran microtremor MS-H3-3 berada pada koordinat 452691 E dan 9400879 S pada zona 48S dengan elevasi 268 meter. Ditahap awal proses windowing pada data mikrotremor MS-H3-3. Proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses *windowing* dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal agar memudahkan dalam proses penghapusan *event*.

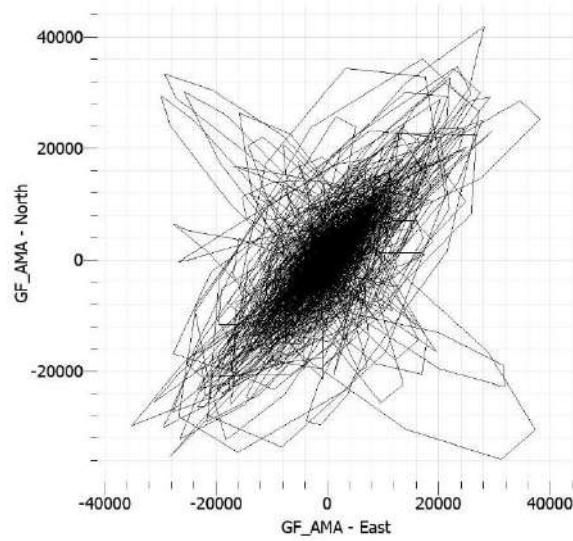
ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1 109	GF_AMA	East	2023-06-20 06:35:25,716200	2023-06-20 07:00:00,497450	128	0,0078125	188772	24m34,781250s	0	0
2 110	GF_AMA	North	2023-06-20 06:35:25,716200	2023-06-20 07:00:00,497450	128	0,0078125	188772	24m34,781250s	0	0
3 111	GF_AMA	Vertical	2023-06-20 06:35:25,716200	2023-06-20 07:00:00,497450	128	0,0078125	188772	24m34,781250s	0	0

**Gambar 82.** Data MS-H3-3**Gambar 83.** Data sinyal MS-H3-3**Gambar 84.** Windowing MS-H3-3



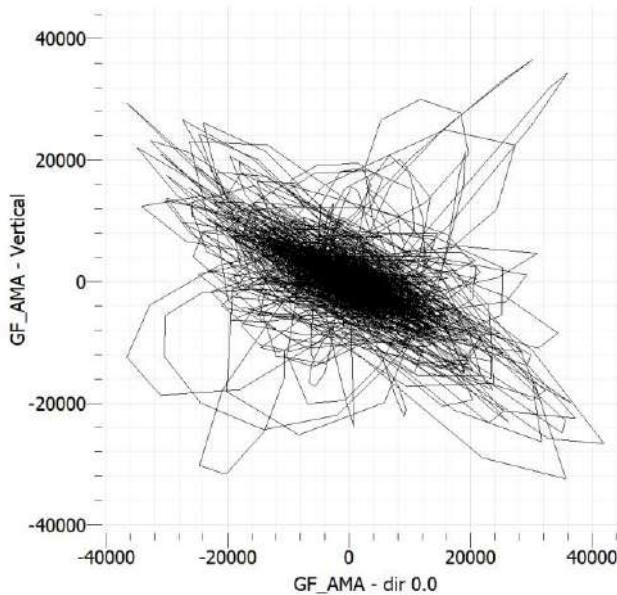
**Gambar 85.** Kurva H/V titik MS-H3-3

Gambar 85 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada kisaran frekuensi 14.1086 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 86.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H3-3

Berdasarkan Gambar 86 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke Barat Daya – Timur Laut secara beraturan dengan Panjang 10469 meter.



**Gambar 87.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H3-3

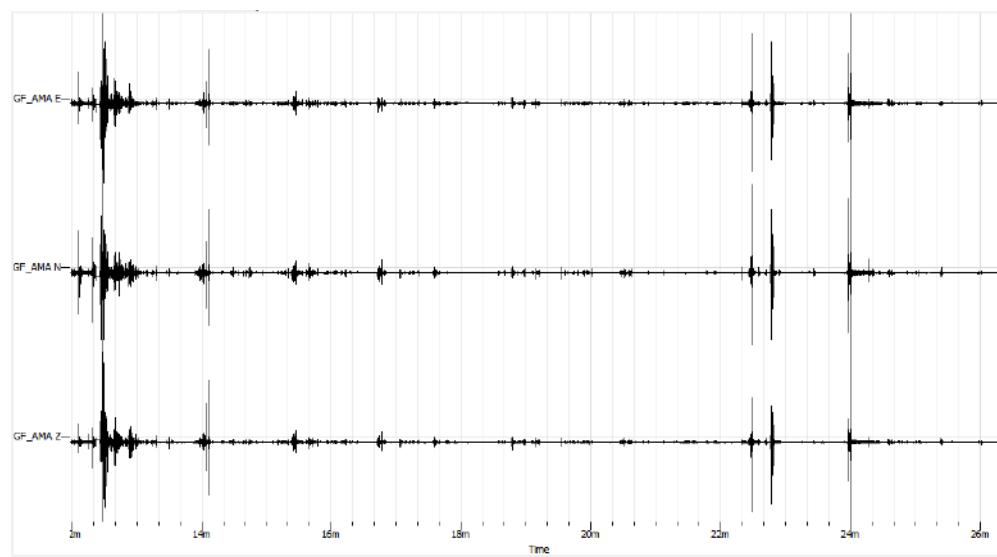
Berdasarkan Gambar 87 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Tenggara – Barat Laut secara beraturan dengan Panjang 10198.04 meter.

#### **Titik MS-H3-4**

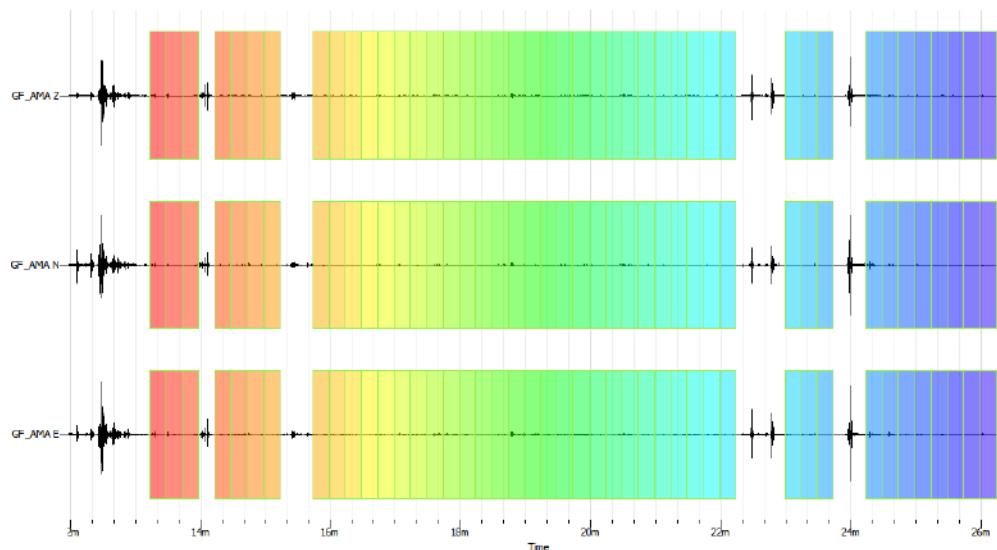
Titik pengukuran microtremor MS-H3-4 berada pada koordinat 452702 E dan 9400876 S pada zona 48S dengan elevasi 249 meter. Ditahap awal proses windowing pada data mikrotremor MS-H3-3. Proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses *windowing* dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal agar memudahkan dalam proses penghapusan *event*.

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1 133	GF_AMA	East	2023-06-20 07:11:58,529600	2023-06-20 07:37:01,224912	128	0,0078125	192345	25m2,695313s	0	0
2 134	GF_AMA	North	2023-06-20 07:11:58,529600	2023-06-20 07:37:01,224912	128	0,0078125	192345	25m2,695313s	0	0
3 135	GF_AMA	Vertical	2023-06-20 07:11:58,529600	2023-06-20 07:37:01,224912	128	0,0078125	192345	25m2,695313s	0	0

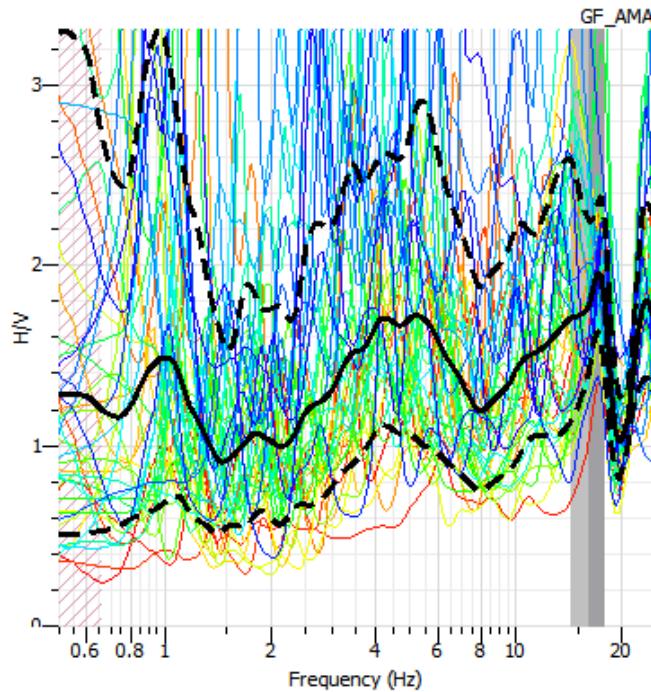
**Gambar 88.** Data MS-H3-4



Gambar 89. Data sinyal MS-H3-4

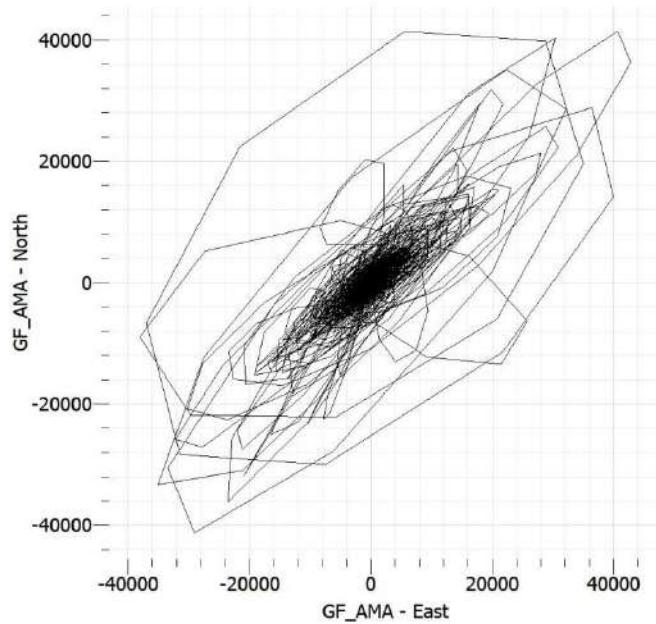


Gambar 90. Windowing MS-H3-4



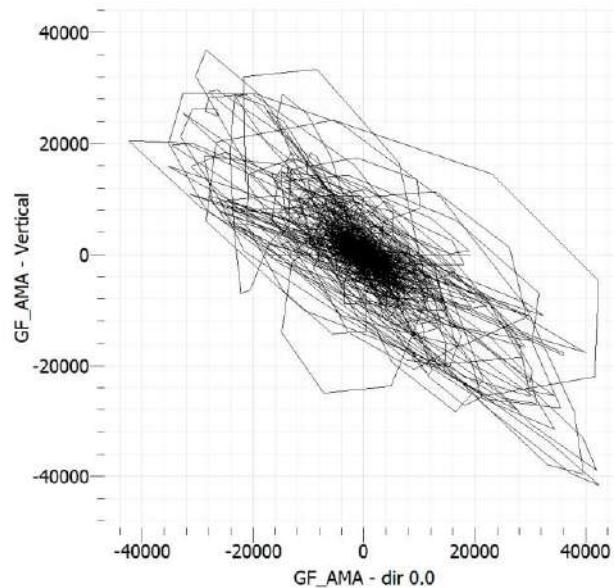
**Gambar 91.** Kurva H/V titik MS-H3-4

Gambar 91 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada kisaran frekuensi 16.0855 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 92.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H3-4

Berdasarkan Gambar 92 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Timur - Barat secara beraturan dengan Panjang 10259.1 meter.



**Gambar 93.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H3-4

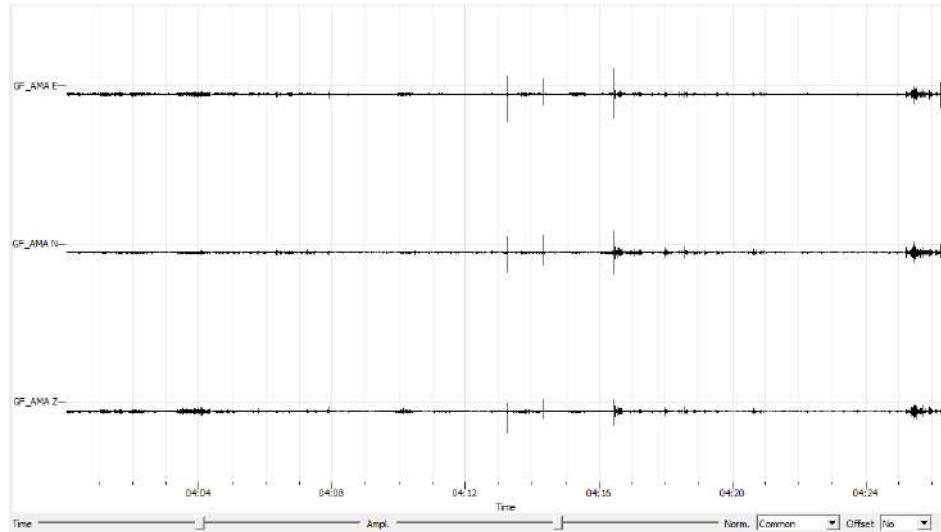
Berdasarkan Gambar 93 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke Tenggara – Barat Laut secara beraturan dengan Panjang 11600 meter.

#### **Titik MS-H4-1**

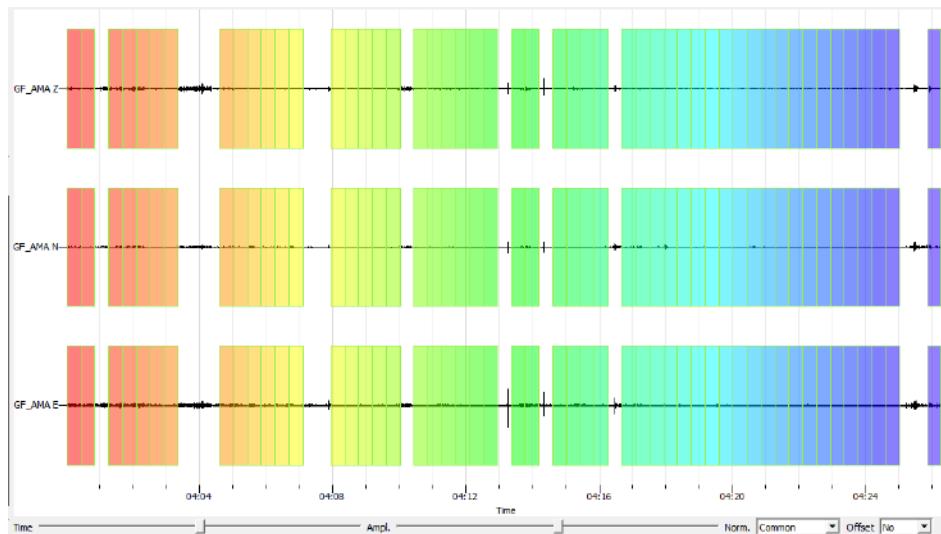
Titik pengukuran microtremor MS-H4-1 berada pada koordinat 451990 E dan 9400100 S pada zona 48S dengan elevasi 150 meter. Ditahap awal proses windowing pada data mikrotremor MS-H4-1. Proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses windowing dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal agar memudahkan dalam proses penghapusan *event*.

ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1 1	GF_AMA	East	2023-06-21 04:00:00,924300	2023-06-21 04:26:26,908675	128	0,0078125	203006	26m25,984375s	0	0
2 2	GF_AMA	North	2023-06-21 04:00:00,924300	2023-06-21 04:26:26,908675	128	0,0078125	203006	26m25,984375s	0	0
3 3	GF_AMA	Vertical	2023-06-21 04:00:00,924300	2023-06-21 04:26:26,908675	128	0,0078125	203006	26m25,984375s	0	0

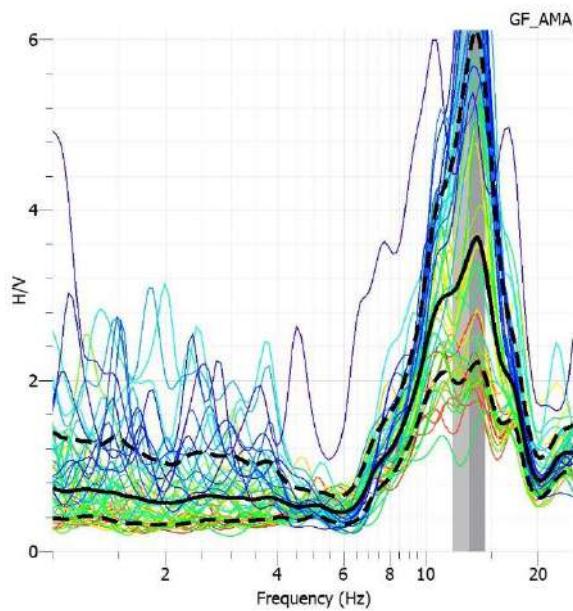
**Gambar 94.** Data MS-H4-1



**Gambar 95.** Data sinyal MS-H4-1

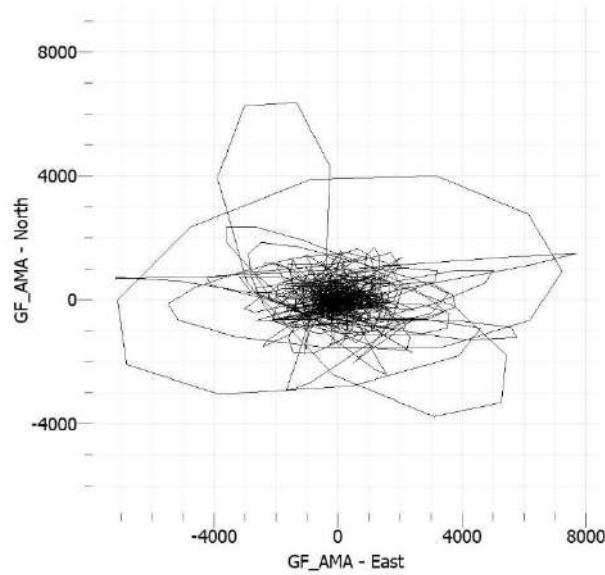


**Gambar 96.** Windowing MS-H4-1



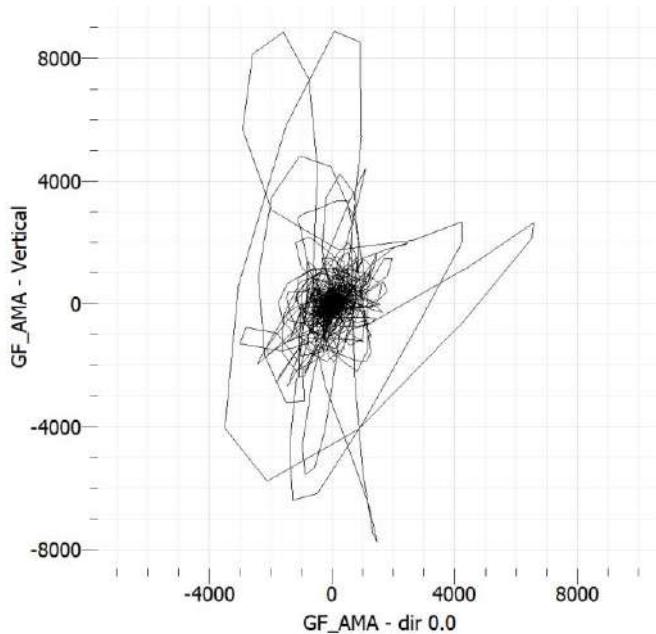
**Gambar 97.** Kurva H/V titik MS-H4-1

Gambar 97 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada frekuensi 13.0275 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 98.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H4-1

Berdasarkan Gambar 98 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Timur - Barat secara beraturan dengan Panjang 19416.5 meter.



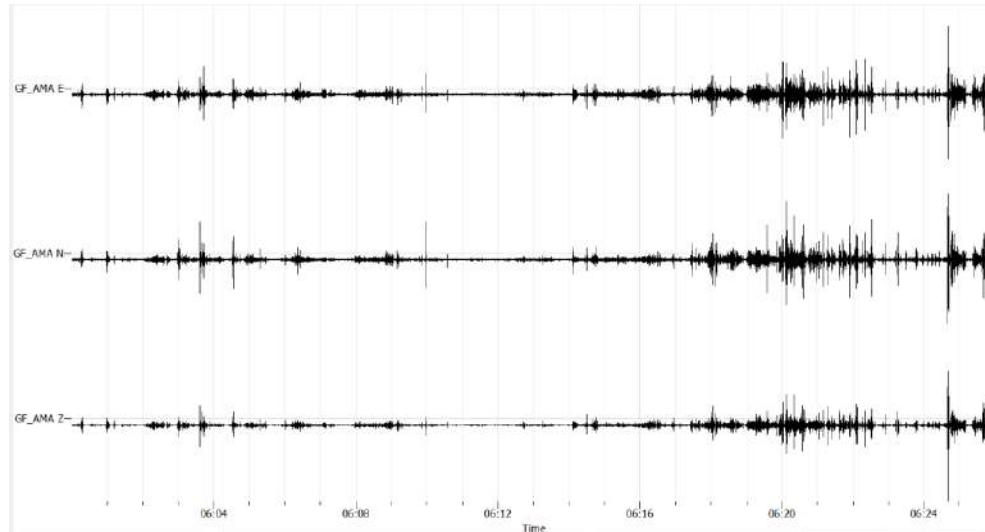
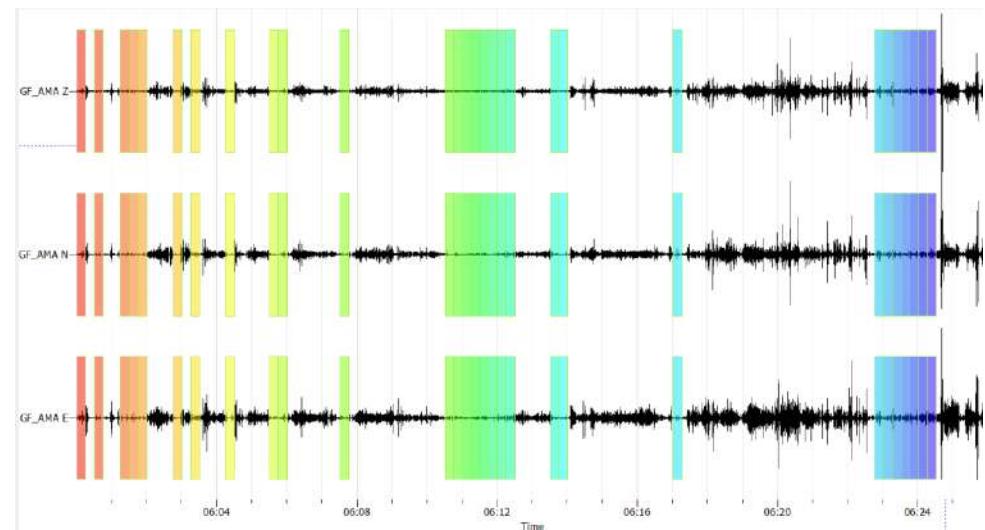
**Gambar 99.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H4-1

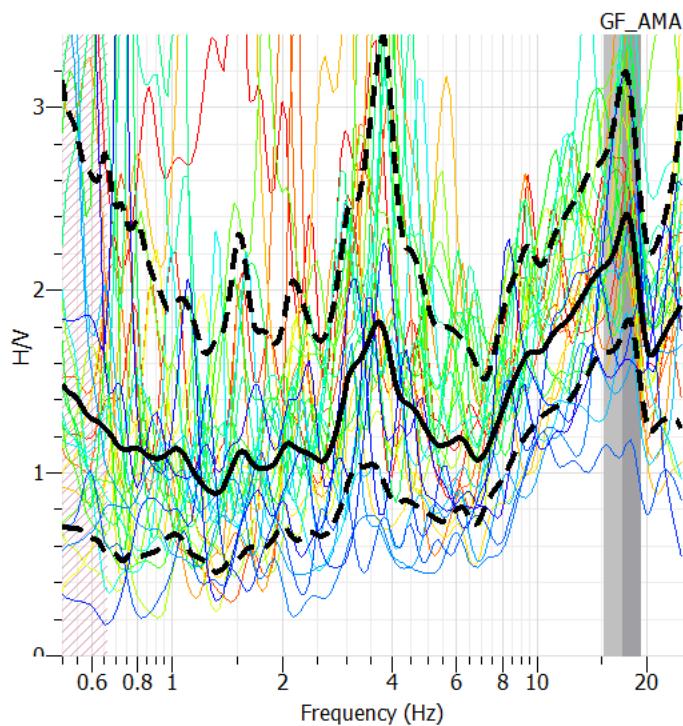
Berdasarkan Gambar 99 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Utara - Selatan secara beraturan dengan Panjang 19723.08 meter.

#### **Titik MS-H4-2**

Titik pengukuran microtremor MS-H4-2 berada pada koordinat 452265 E dan 9400505 S pada zona 48S dengan elevasi 184 meter. Ditahap awal proses windowing pada data mikrotremor MS-H4-2. Proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses *windowing* dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal agar memudahkan dalam proses penghapusan *event*.

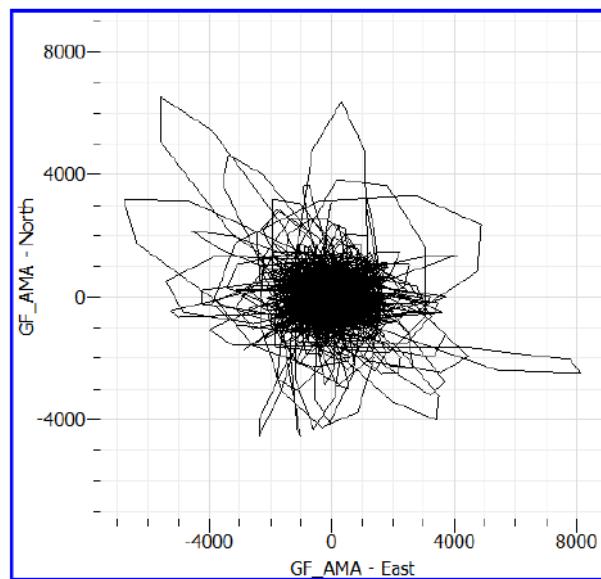
ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1_82	GF_AMA	East	2023-06-21 06:00:00.464600	2023-06-21 06:26:01.464600	128	0.0078125	199808	26m1.000000s	0	0
2_83	GF_AMA	North	2023-06-21 06:00:00.464600	2023-06-21 06:26:01.464600	128	0.0078125	199808	26m1.000000s	0	0
3_84	GF_AMA	Vertical	2023-06-21 06:00:00.464600	2023-06-21 06:26:01.464600	128	0.0078125	199808	26m1.000000s	0	0

**Gambar 100.** Data MS-H4-2**Gambar 101.** Data sinyal MS-H4-2**Gambar 102.** Windowing MS-H4-2



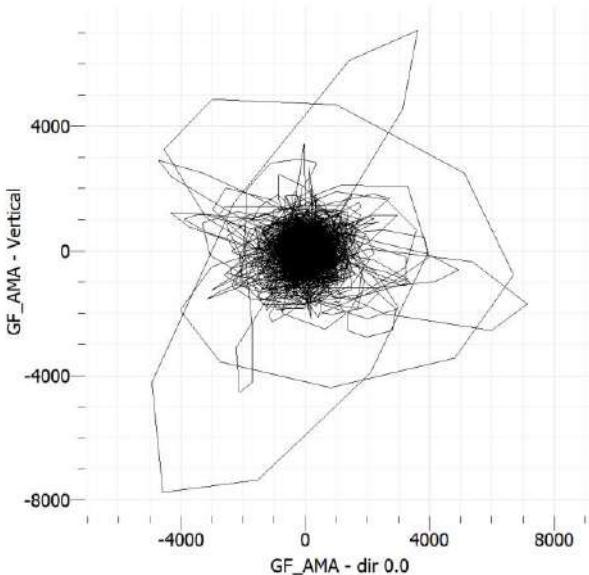
**Gambar 103.** Kurva H/V titik MS-H4-2

Gambar 103 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada kisaran frekuensi 17.0952 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 104.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H4-2

Berdasarkan Gambar 104 didapatkan bahwa *partikel motion* secara horizontal dominan bergerak ke arah Tenggara – Barat Laut secara beraturan dengan Panjang 12369.3 meter.



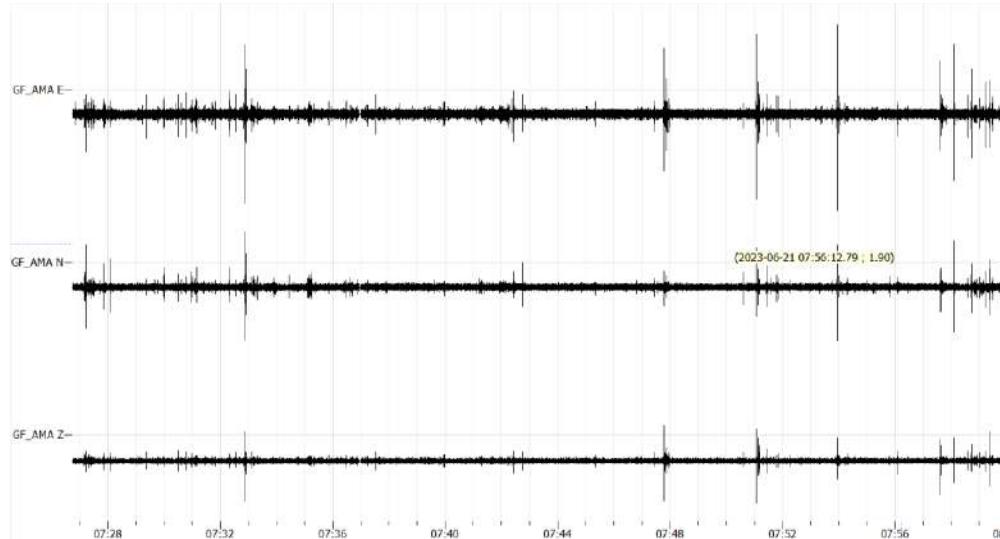
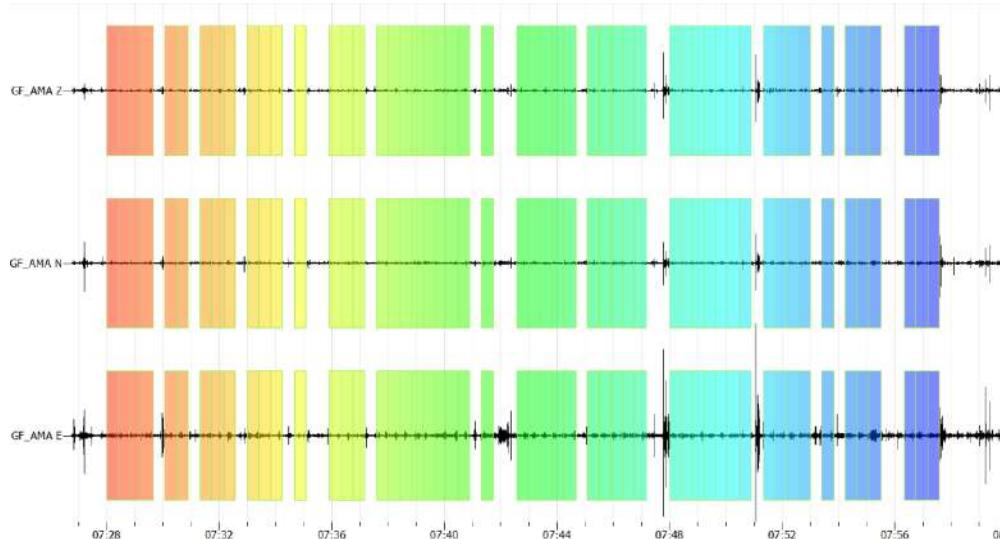
**Gambar 105.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H4-2

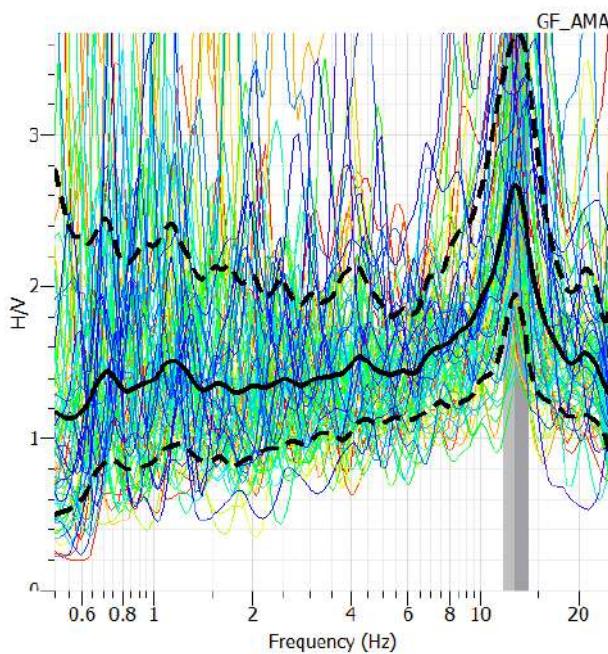
Berdasarkan Gambar 105 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Timur Barat secara beraturan dengan Panjang 19209.37 meter.

### **Titik MS-H4-3**

Titik pengukuran microtremor MS-H4-3 berada pada koordinat 452384 E dan 9400472 S pada zona 48S dengan elevasi 159 meter. Ditahap awal proses windowing pada data mikrotremor MS-H4-3. Proses ini dilakukan untuk memilih sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas getaran di dalam tanah, tetapi dipengaruhi oleh aktivitas manusia disekitar. Sebelum dilakukan proses *windowing* dilakukan proses *remove trend* untuk menaikkan sinyal agar memudahkan dalam proses penghapusan *event*.

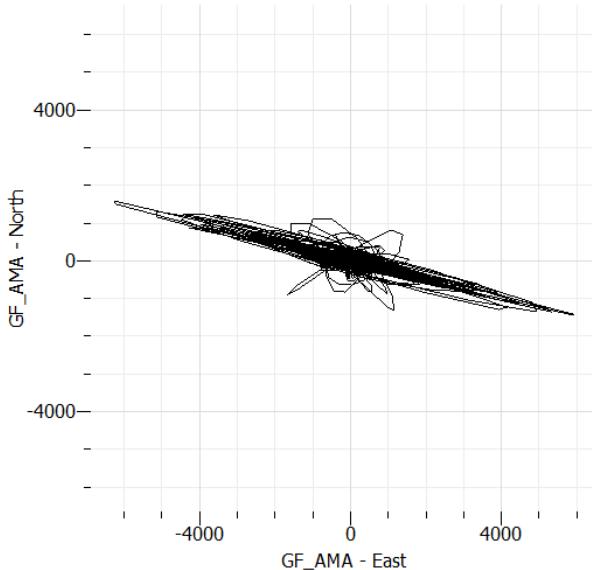
ID	Name	Component	Start time	End time	Sampling frequency	Sampling period	N samples	Duration	Rec x	Rec y
1 1	GF_AMA	East	2023-06-21 07:26:44.126900	2023-06-21 08:00:01.376900	128	0.0078125	255648	33m17.250000s	0	0
2 2	GF_AMA	North	2023-06-21 07:26:44.126900	2023-06-21 08:00:01.376900	128	0.0078125	255648	33m17.250000s	0	0
3 3	GF_AMA	Vertical	2023-06-21 07:26:44.126900	2023-06-21 08:00:01.376900	128	0.0078125	255648	33m17.250000s	0	0

**Gambar 106.** Data MS-H4-3**Gambar 107.** Data sinyal MS-H4-3**Gambar 108.** Windowing MS-H4-3



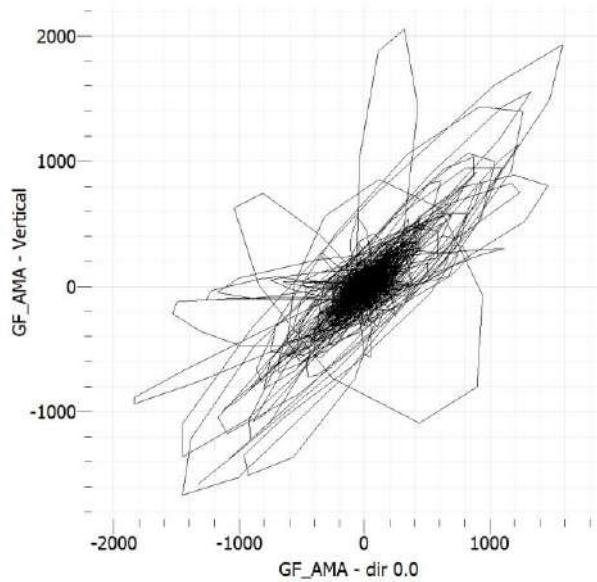
**Gambar 109.** Kurva H/V titik MS-H4-3

Gambar 109 menunjukkan hasil kurva H/V yang telah diolah. Pada kurva tersebut menunjukkan frekuensi dominan berada pada kisaran frekuensi 12.7859 Hz yang ditunjukkan oleh titik kurva tertinggi.



**Gambar 110.** Partikel *motion* horizontal titik MS-H3-3

Berdasarkan Gambar 100 didapatkan bahwa partikel dominan bergerak ke arah Tenggara-Barat Laut secara beraturan.



**Gambar 111.** Partikel *motion* vertikal titik MS-H3-3

Berdasarkan Gambar 111 didapatkan bahwa *partikel motion* secara vertikal dominan bergerak ke arah Barat Daya – Timur Laut secara beraturan dengan Panjang 4951.76 meter.

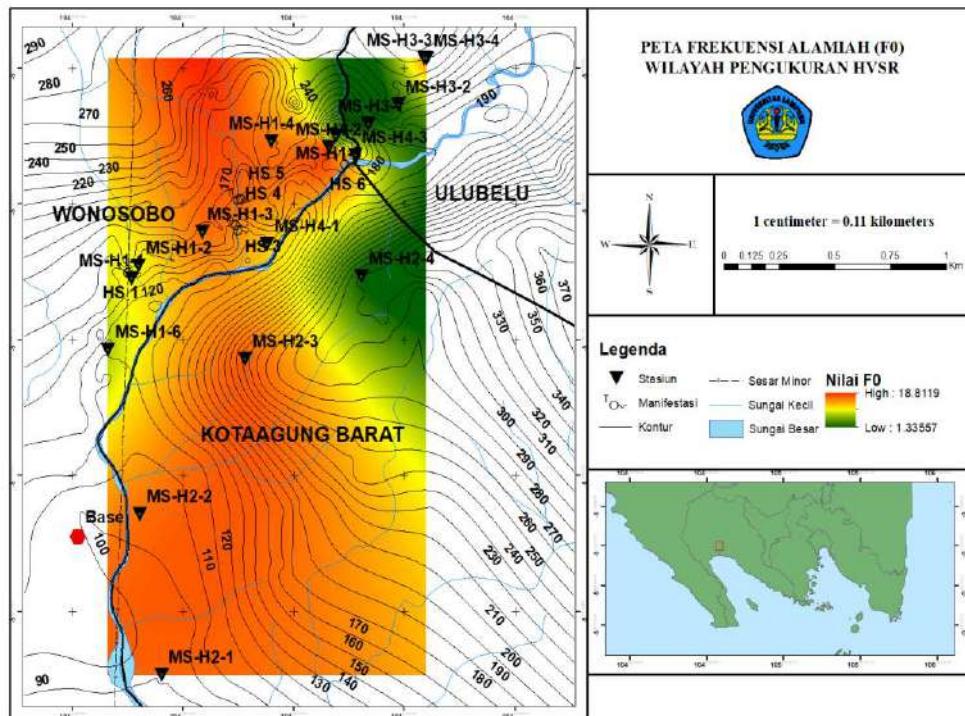
### **Frekuensi Dominan ( $f_0$ )**

Berdasarkan penelitian oleh Nakamura, menunjukkan bahwa frekuensi natural HVSR dipengaruhi oleh dua parameter yaitu kecepatan gelombang geser dan kedalaman *bedrock*. Kedalaman *bedrock* berbanding terbalik dengan frekuensi natural. Frekuensi dominan ( $f_0$ ) adalah cerminan dari kondisi fisik tanah yang menggambarkan tebal atau tipisnya lapisan sedimen suatu daerah. Hubungan frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan ketebalan lapisan sedimen ( $h$ ) adalah frekuensi dominan berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan sedimen, sehingga frekuensi dominan yang rendah menggambarkan suatu daerah dengan sedimen yang tebal atau tanah yang lunak, sedangkan nilai frekuensi dominan yang tinggi menggambarkan daerah yang memiliki ketebalan sedimen yang tipis dan memiliki tanah yang lebih keras (Bard, 2000).

**Tabel 9.** Klasifikasi nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) daerah penelitian

Klasifikasi Tanah	$f_0$ (Hz)	Lokasi	Deskripsi
Jenis III	2.5 - 4	Titik MS-H2-4 dan MH-H3-1	Ketebalan sedimen permukaan kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter
Jenis II	4 - 10	Titik MS-H1-5, MS-H1-6 dan MS-H3-2	Ketebalan sedimen permukaan kategori menengah 5 – 10 meter
Jenis I	6.667 - 20	Titik MS-H1-1, MS-H1-2, MS-H1-3, MS-H1-4, MS-H1-6, MS-H2-1, MS-H2-2, MS-H2-3, MS-H3-3, MS-H3-4, MS-H4-1, MS-H4-2, dan MS-H4-3	Ketebalan sedimen permukaan sangat tipis, didominasi oleh batuan keras

Sehingga dapat diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi Kanai seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8. Nilai frekuensi dominan yang didapatkan di setiap titik penelitian ditunjukkan pada peta pemodelan (mikrozonasi) frekuensi dominan seperti pada Gambar 112.



**Gambar 112.** Peta frekuensi dominan daerah penelitian

Pada mikrozonasi frekuensi dominan gambar di atas, diperoleh nilai frekuensi dominan dengan klasifikasi rendah, sedang, dan tinggi. Berdasarkan klasifikasi Kanai, nilai frekuensi dominan rendah berada pada rentang 2,5 - 4 Hz. Daerah dengan frekuensi dominan rendah ini dimungkinkan mempunyai kondisi tanah yang lunak dan ketebalan sedimen permukaan kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter. Daerah yang mempunyai persebaran nilai frekuensi dominan rendah yaitu Titik MS-H2-4 dan MH-H3-1. Nilai frekuensi dominan sedang berada pada rentang nilai 4 – 10 Hz. Daerah yang mempunyai persebaran nilai frekuensi dominan sedang yaitu pada titik MS-H1-5, MS-H1-6 dan MS-H3-2. Daerah dengan frekuensi dominan sedang ini dimungkinkan mempunyai kondisi tanah yang keras dan mempunyai ketebalan sedimen permukaan kategori menengah 5 – 10 meter. Nilai frekuensi dominan dengan nilai tinggi berada pada rentang nilai 6.667 – 20 Hz. Daerah dengan frekuensi dominan yang tinggi dimungkinkan ketebalan sedimen permukaan sangat tipis, didominasi oleh batuan keras. Daerah yang mempunyai persebaran nilai frekuensi dominan tinggi yaitu Titik MS-H1-1,

MS-H1-2, MS-H1-3, MS-H1-4, MS-H1-6, MS-H2-1, MS-H2-2, MS-H2-3, MS-H3-3, MS-H3-4, MS-H4-1, MS-H4-2, dan MS-H4-3.

Berdasarkan peta  $f_0$  pada gambar 112 di atas, maka dapat diketahui bahwasannya daerah yang memiliki nilai frekuensi fundamental rendah sebagian besar berada di bagian timur dan timur laut daerah penelitian. Hal ini ditandai dengan warna hijau pada peta  $f_0$ . Salah satu faktor yang menyebabkan rendahnya nilai frekuensi fundamental pada daerah Wonosobo bagian Timur laut yaitu kondisi geologinya yang tersusun oleh satuan litologi breksi lava dan piroklastik yang memiliki sifat polimik, terpisah dengan buruk, dan fragmennya terdiri dari batu apung, andesit, dan andesit basaltic. breksi lava dan piroklastik yang terletak pada bagian timur hingga timur laut daerah penelitian mengalami alterasi batuan yang dapat mempercepat proses pelapukan sehingga menghasilkan endapan sedimen yang cukup tebal. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya manifestasi disekitar titik penelitian yang dapat mengakibatkan batuan mudah teralterasi akibat nilai suhu disekitar manifestasi yang cukup tinggi. Factor lain yang menyebabkan rendahnya nilai frekuensi fundamental pada titik ini yaitu titik pengukuran yang berada di lereng dengan ketinggian 312 dan 205 meter. Topografi yang tinggi seringkali ditandai oleh adanya lereng curam dan dinding bukit yang membatasi wilayah tersebut. Lereng dan dinding bukit dapat berfungsi sebagai pembatas alami yang mempengaruhi propagasi gelombang seismik. Gelombang yang terperangkap di antara lereng dan dinding bukit cenderung memiliki frekuensi alamiah yang lebih rendah akibat pantulan dan interferensi gelombang. Sedangkan untuk frekuensi dominan sedang diindikasikan memiliki nilai ketebalan sedimen yang cukup tipis sekitar 5 – 10 meter. Zona ini pada peta  $f_0$  ditandai dengan warna kuning. Zona ini cenderung menyebar ke arah Utara-Selatan daerah penelitian. Sedangkan untuk frekuensi dominan tinggi diindikasikan memiliki nilai ketebalan sedimen permukaan yang tipis. Zona ini pada peta  $f_0$  ditandai dengan warna merah. Factor utama yang menyebabkan tingginya nilai frekuensi fundamental pada daerah penelitian

yaitu kondisi geologinya yang tersusun atas batuan vulkanik yaitu Lava Andesit-Basaltik dan Breksi yang masih keras.

### **Faktor Amplifikasi ( $A_0$ )**

Faktor amplifikasi merupakan faktor yang berkaitan dengan penguatan gelombang. Menurut Nakamura (2000) faktor amplifikasi berhubungan dengan faktor perbandingan kontras impedansi antara lapisan sedimen di permukaan dan bedrock yang ada dibawahnya. Apabila kontras impedansi untuk kedua lapisan ini tinggi maka nilai amplifikasi juga tinggi begitu pula sebaliknya apabila kontras impedansi kedua lapisan rendah maka, nilai amplifikasi juga rendah.

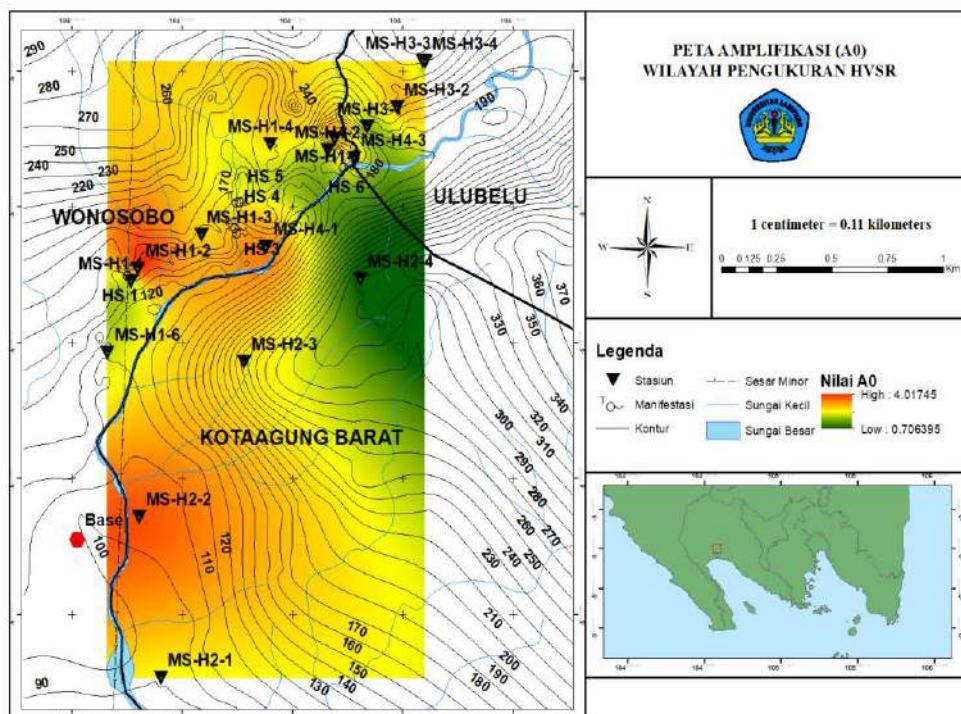
Sesuai dengan (Sungkono dkk., 2011) menyatakan bahwa daerah yang rawan terkena goncangan gempa, terjadi pada daerah yang memiliki faktor amplifikasi getaran gempa berada pada lapisan sedimen lunak dengan *bedrock* yang keras. Keadaan tersebut menyatakan bahwa terdapat perbedaan kontras impedansi yang tinggi antara lapisan sedimen dan bedrock yang besar. Pada lapisan sedimen yang lunak akan memiliki durasi penjalaran gelombang dengan waktu yang lama, dan akan memperbesar faktor nilai amplifikasinya. Faktor amplifikasi dipengaruhi oleh kecepatan gelombang geser ( $v_s$ ), apabila kecepatan gelombang geser semakin kecil maka faktor amplifikasi semakin besar. Hal ini berhubungan dengan tingkat kepadatan batuan, dimana berkurangnya kepadatan batuan akan meningkatkan nilai faktor amplifikasi (Hartati, 2014). Nilai faktor amplifikasi di wilayah Way Panas, Wonosobo adalah 1.08952 – 3.91567.

Nilai faktor amplifikasi tersebut diklasifikasikan berdasarkan nilai tinggi rendahnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Klasifikasi nilai faktor amplifikasi ( $A_0$ ) daerah penelitian

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi	Lokasi
1	Rendah	$A < 3$	Titik MS-H1-1, MS-H1-3, MS-H1-4, MS-H1-6, MS-H2-1, MS-H2-3, MS-H2-4, MS-H3-1, MS-H3-3, MS-H3-4, MS-H4-2, dan MS-H4-3.
2	Sedang	$3 \leq A < 6$	Titik MS-H1-2, MS-H1-5, MS-H2-2, MS-H3-2, dan MS-H4-1
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$	-
4	Sangat Tinggi	$A \geq 9$	-

Nilai faktor amplifikasi yang didapatkan di setiap titik penelitian ditunjukkan pada peta pemodelan (mikrozonasi) faktor amplifikasi seperti pada gambar 113 di bawah.

**Gambar 113.** Peta faktor amplifikasi daerah penelitian

Pada mikrozonasi faktor amplifikasi, diperoleh nilai faktor amplifikasi dengan klasifikasi rendah, dan sedang. Nilai faktor amplifikasi rendah berada pada rentang nilai  $>3$ . Daerah yang mempunyai persebaran nilai faktor amplifikasi rendah yaitu di Titik MS-H1-1, MS-H1-3, MS-H1-4, MS-H1-6, MS-H2-1, MS-H2-3, MS-H2-4, MS-H3-1, MS-H3-3, MS-H3-4, MS-H4-2, dan MS-H4-3. Sedangkan nilai faktor amplifikasi sedang berada pada rentang nilai  $3 \leq A < 6$  yaitu Titik MS-H1-2, MS-H1-5, MS-H2-2, MS-H3-2, dan MS-H4-1.

Berdasarkan peta  $A_0$  di atas, maka dapat diketahui bahwasannya daerah yang memiliki nilai amplifikasi tertinggi yaitu di titik MS-H1-2 dan kemudian di titik MS-H2-2. Daerah yang memiliki nilai amplifikasi yang tinggi dimungkinkan akan terjadi penguatan gelombang yang lebih besar daripada daerah yang memiliki nilai amplifikasi yang kecil. Pada daerah yang berada pada zona amplifikasi sangat tinggi jika terjadi gempa dimungkinkan dapat terjadi potensi guncangan gempa yang kuat. Besarnya nilai amplifikasi di kedua titik ini yaitu karena dipengaruhi oleh adanya struktur sesar minor yang melewati kedua titik ini dan juga ditemukan manifestasi panas bumi yang berupa *hot spring* pada titik MS-H1-2.

Keberadaan manifestasi dapat menyebabkan perubahan suhu dan perubahan termal dalam lapisan tanah. Perubahan suhu ini dapat mempengaruhi kecepatan gelombang seismik yang melintasi tanah. Ketika gelombang seismik melewati zona dengan perubahan kecepatan yang signifikan akibat panas bumi, dapat terjadi amplifikasi gelombang seismik. Perbedaan kecepatan gelombang seismik antara lapisan tanah yang panas dan lapisan yang lebih dingin dapat menghasilkan pembiasan atau pemantulan gelombang yang dapat meningkatkan amplitudo gelombang seismik. Selain itu juga, dengan adanya manifestasi di dekat titik pengukuran MS-H1-2 maka dapat mempengaruhi sifat termal lapisan tanah, seperti kepadatan dan kelembaban. Perubahan sifat termal ini dapat mempengaruhi propagasi gelombang seismik. Misalnya, lapisan tanah yang lebih lembap atau dengan

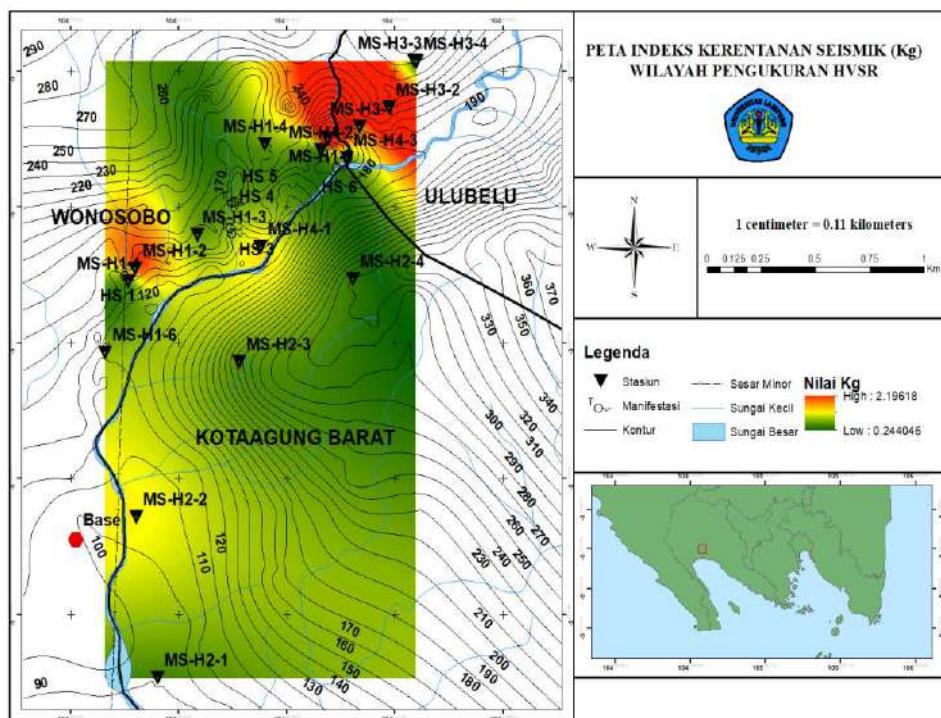
kandungan air yang tinggi dapat mengalami peningkatan kecepatan gelombang seismik dan menghasilkan amplifikasi gelombang yang lebih besar. Efek termal ini dapat berinteraksi dengan faktor-faktor geologi lokal dan struktur tanah lainnya, mempengaruhi amplifikasi gelombang seismik secara keseluruhan.

Selain adanya manifestasi panas bumi, penyebab utama lain tingginya amplifikasi di titik MS-H2-1 dan MS-H2-2 yaitu dipengaruhi oleh adanya sesar minor. Sesar sering kali memiliki karakteristik geologi yang berbeda, seperti zona retakan atau lipatan, yang dapat mempengaruhi propagasi gelombang seismik. Ketika gelombang seismik melewati daerah dekat sesar, ada kemungkinan terjadi perubahan kecepatan gelombang atau pembiasan gelombang. Fenomena ini dapat mengarah pada amplifikasi gelombang seismik di sekitar sesar. Pada beberapa kasus, sesar bahkan dapat bertindak sebagai pandu gelombang yang mengarahkan energi seismik dan menghasilkan amplifikasi yang signifikan pada permukaan tanah. Sesar dapat berfungsi sebagai batas akustik atau penghalang bagi gelombang seismik. Ketika gelombang seismik mencapai sesar, terjadi perubahan drastis dalam sifat-sifat elastis batuan. Hal ini dapat menyebabkan pemantulan dan pembiasan gelombang, yang pada gilirannya menghasilkan amplifikasi. Pemantulan gelombang seismik pada sesar dapat menyebabkan peningkatan amplitudo gelombang seismik pada permukaan tanah.

### **Analisis Indeks Kerentanan Seismik (Kg)**

Nilai indeks kerentanan seismik berkaitan dengan tingkat kerawanan suatu wilayah dari ancaman gempa bumi terhadap kerusakan yang ditimbulkan gempa bumi. Apabila nilai indeks kerentanan seismik semakin besar maka tingkat resiko kerusakan yang ditimbulkan akan semakin besar pula. Hal ini juga berkaitan dengan kondisi geologi daerah setempat dimana indeks kerentanan seismik yang tinggi, memiliki frekuensi natural yang rendah. Batuan sedimen lunak dapat juga menjadi salah satu faktor amplifikasi gelombang gempa.

Indeks kerentanan seismik atau indeks kerentanan tanah diperoleh berdasarkan nilai dari frekuensi natural dan faktor amplifikasi. Analisis indeks kerentanan seismik ini menginformasikan kerentanan seismik sebagai akibat yang ditimbulkan oleh gempabumi. Hasil analisis mikrotremor menggunakan HVSR menunjukkan indeks kerentanan tanah (Kg) daerah penelitian bervariasi kisaran antara 0,194 hingga 2.123. Berdasarkan daerah penelitian memiliki rentang nilai indeks kerentanan tertinggi yaitu 2.123 berada pada sekitar titik MH-H3-2.



**Gambar 114.** Peta pemodelan indeks kerentanan seismik daerah penelitian

Menurut pendapat Daryono (2011), di mana indeks kerentanan seismik menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempabumi, yang berkaitan dengan kondisi geomorfologisnya yang mana pada daerah alluvial nilai indeks kerentanan seismik menunjukkan nilai yang tinggi sedangkan daerah perbukitan menunjukkan nilai indeks kerentanan seismik yang rendah (Daryono, 2011). Nakamura juga menyampaikan bahwa dalam penelitiannya di distrik Marina

San Fransisco, daerah yang mengalami kerusakan parah berada pada dataran yang memiliki kondisi geologi alluvium yaitu berada di daerah pantai yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik tinggi (Nakamura, 2000).

Hasil pengolahan data microtremor pada titik HS-H3-2 menunjukkan hasil yang berbanding terbalik dengan pendapat Daryanto dan Nakamura. Hal ini dikarenakan pada titik HS-H3-2 memiliki nilai kerentanan seismic yang paling tinggi dan berada pada lereng bukit dengan elevasi 222 meter. Jika ditinjau dari segi elevasi atau ketinggian, titik ini memiliki ketinggian yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan titik pengukuran lainnya. Hal ini bisa terjadi dikarenakan daerah perbukitan cenderung memiliki lereng curam yang dapat mempengaruhi stabilitas tanah. Ketika terjadi gempa bumi, lereng curam di daerah perbukitan memiliki potensi yang lebih tinggi untuk mengalami gerakan tanah, seperti longsor atau runtuhan. Jika stabilitas lereng rendah, maka indeks kerentanan seismik dapat menjadi besar di daerah perbukitan.

Selain itu, faktor utama yang menyebabkan nilai indeks kerentanan seismic yang tinggi di titik HS-H3-2 ini yaitu faktor geologi. Daerah perbukitan seringkali memiliki jenis batuan yang lebih keras dan tanah yang lebih lapuk. Batuan yang keras mungkin memiliki kekuatan yang lebih tinggi terhadap gempa bumi, tetapi kemampuan tanah lapuk untuk mendukung struktur bangunan mungkin lebih rendah. Ini dapat meningkatkan risiko kerusakan struktural dan memberikan kontribusi pada indeks kerentanan seismik yang lebih besar. Hal ini dibuktikan dengan nilai frekuensi fundamental pada titik ini yang cukup rendah yaitu 4.374 Hz yang menandakan bahwasannya daerah tersebut memiliki lapisan sedimen yang cukup tebal akibat proses pelapukan batuan. Hal ini juga dibuktikan dengan nilai amplifikasi yang cukup besar jika dibandingkan dengan titik pengukuran lainnya yaitu 3.0478. Topografi perbukitan dapat mempengaruhi amplifikasi gelombang seismik. Gelombang seismik yang melewati daerah perbukitan dapat mengalami amplifikasi karena efek pembiasan, pemantulan, atau interferensi dengan topografi.

Amplifikasi ini dapat meningkatkan amplitudo gelombang seismik yang mencapai permukaan tanah, sehingga meningkatkan potensi kerusakan pada bangunan dan infrastruktur, dan pada akhirnya meningkatkan indeks kerentanan seismik.

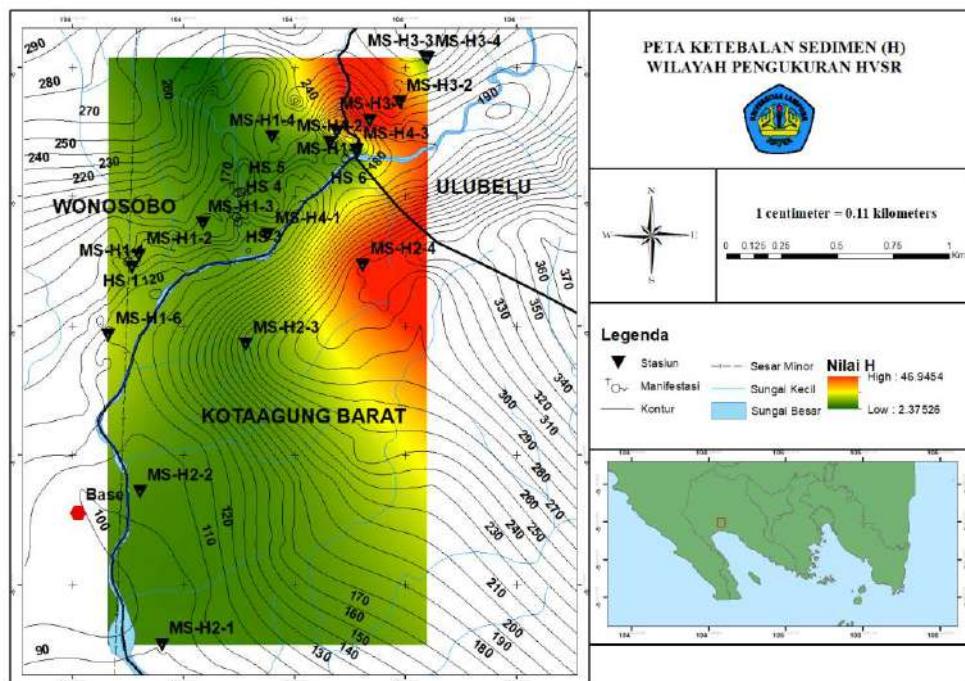
### **Analisis Ketebalan Sedimen (h)**

Ketebalan lapisan sedimen lokasi penelitian ini ditentukan berdasarkan frekuensi natural yang terukur dan kecepatan gelombang geser pada permukaan tanah (Vs30). Nilai Vs30 yang digunakan di daerah Way Panas, Wonosobo sebesar 466.693 – 643.423 m/s. Nilai Vs30 ini diperoleh dari USGS dalam bentuk file .grd yang kemudian dilakukan pengolahan di *Software ArcGIS* untuk mendapatkan nilai Vs30 yang sesuai dengan titik koordinat daerah penelitian. Adapun nilai Vs30 yang daerah penelitian terdapat pada tabel 11 di bawah ini.

**Tabel 11.** Nilai Vs30 dan Ketebalan Sedimen

<b>Stasiun</b>	<b>UTM X</b>	<b>UTM Y</b>	<b>Vs30</b>	<b>h</b>
MS-H1-1	451383	9399958	575.495	12.5965
MS-H1-2	451416	9400010	593.329	13.0877
MS-H1-3	451700	9400150	561.59	8.57666
MS-H1-4	452008	9400529	556.778	8.5238
MS-H1-5	452296	9400554	572.044	27.9952
MS-H1-6	451279	9399658	583.282	16.3687
MS-H2-1	451520	9398296	466.693	6.88732
MS-H2-2	451421	9398971	524.195	7.96353
MS-H2-3	451892	9399619	567.41	8.36163
MS-H2-4	452413	9399965	551.78	39.8495
MS-H3-1	452444	9400603	586.832	42.1806
MS-H3-2	452576	9400685	606.159	34.6416
MS-H3-3	452691	9400879	643.423	11.4013
MS-H3-4	452702	9400876	642.839	9.99097
MS-H4-1	451990	9400100	527.426	10.1214
MS-H4-2	452265	9400505	559.934	8.18846
MS-H4-3	452384	9400472	557.141	10.8937

Secara matematis ketebalan lapisan sedimen berbanding lurus dengan kecepatan rambat gelombang geser rata-rata dan berbanding terbalik dengan frekuensi natural. Daerah penelitian yang berlokasi di daerah Way Panas, Wonosobo menunjukan bahwa nilai ketebalan lapisan sedimen tertinggi berada pada titik titik MS-H3-1 yang mempunyai kisaran nilai 42.18 meter. Berikut peta ketebalan sedimen dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 115. Peta Ketebalan Sedimen

Berdasarkan pengaruh terhadap gempa dapat diestimasi bahwa ketika lapisan sedimen memiliki nilai yang besar akan berkorelasi dengan frekuensi natural yang memiliki nilai rendah, dimana amplitudo yang akan dihasilkan akan semakin besar. Gelombang gempa akan terjebak pada lapisan sedimen yang tebal sehingga gelombang hanya berosilasi tanpa diteruskan. Ketika gelombang gempa memiliki frekuensi sama ataupun lebih besar maka gelombang akan mengalami penguatan yang tinggi sehingga daerah yang memiliki ketebalan sedimen yang tebal akan rawan terhadap gempa bumi.

Sesuai dengan peta zonasi frekuensi natural, hal ini berkorelasi bahwa titik MS-M3-1 dan MS-H2-4 memiliki nilai frekuensi natural rendah dan memiliki nilai ketebalan sedimen yang tinggi. Sebagian besar Daerah Way Panas, Wonosobo memiliki kontur tinggi, sehingga memiliki nilai ketebalan sedimen ( $h$ ) menengah yaitu berkisar 16.33 meter. Jika mengacu pada klasifikasi jenis batuan berdasarkan *Uniform Building Code* (UBC), maka nilai Vs30 daerah penelitian masuk kedalam rentang nilai 360 – 760 m/s yang mengindikasikan bahwasannya daerah penelitian termasuk dalam tipe batuan C dengan profil jenis tanah *Very Dense Soil and Soft Rock* (tanah keras dan batuan lunak).

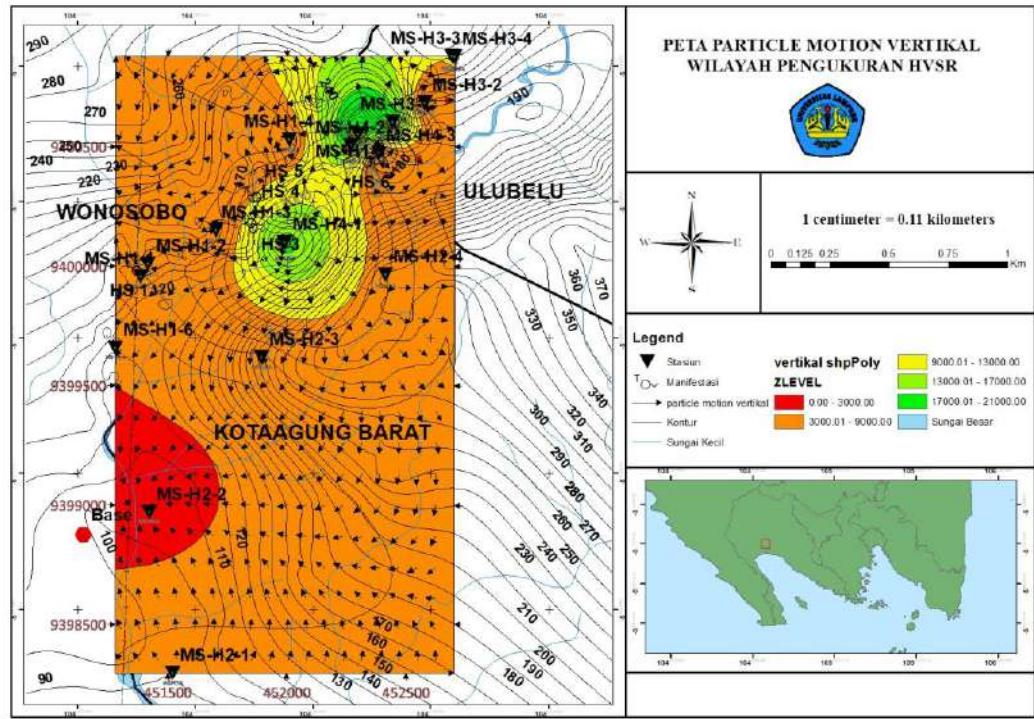
Secara umum Parameter frekuensi dominan ( $F_0$ ), amplifikasi ( $A_0$ ), indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), dan ketebalan sedimen ( $h$ ) pada daerah penelitian dipengaruhi oleh beberapa faktor yang diantaranya kondisi geologi, keberadaan manifestasi, kondisi topografi, dan keberadaan struktur sesar. Berdasarkan klasifikasi tanah *site class* Kanai, maka dapat diketahui bahwasannya daerah penelitian yang memiliki potensi rawan gempa yaitu daerah yang berada pada sisi timur laut hingga timur daerah penelitian. Hal ini dikarenakan memiliki nilai frekuensi alamiah yang cukup rendah, indeks kerentanan seismic yang tinggi, dan ketebalan sedimen yang paling tinggi jika dibandingkan titik pengukuran lainnya. Adapun titik pengukuran yang memiliki potensi rawan gempa yaitu titik MS-H2-4 dan titik MS-H3-1. Secara umum daerah penelitian memiliki nilai frekuensi dominan kategori jenis I yang memiliki ketebalan sedimen permukaan sangat tipis, didominasi oleh batuan keras, nilai amplifikasi  $<3$  yang termasuk kategori rendah, indeks kerentanan seismic yang cukup rendah, dan ketebalan sedimen yang cukup tipis sekitar 16.33 meter. Berdasarkan peta geologi regional lembar Kota Agung, daerah penelitian di dominasi oleh batuan lava andesit-basaltik, dan breksi. Hal ini menyebabkan secara umum daerah penelitian cukup aman terhadap getaran gempa.

### Arah Partikel Motion Daerah Penelitian

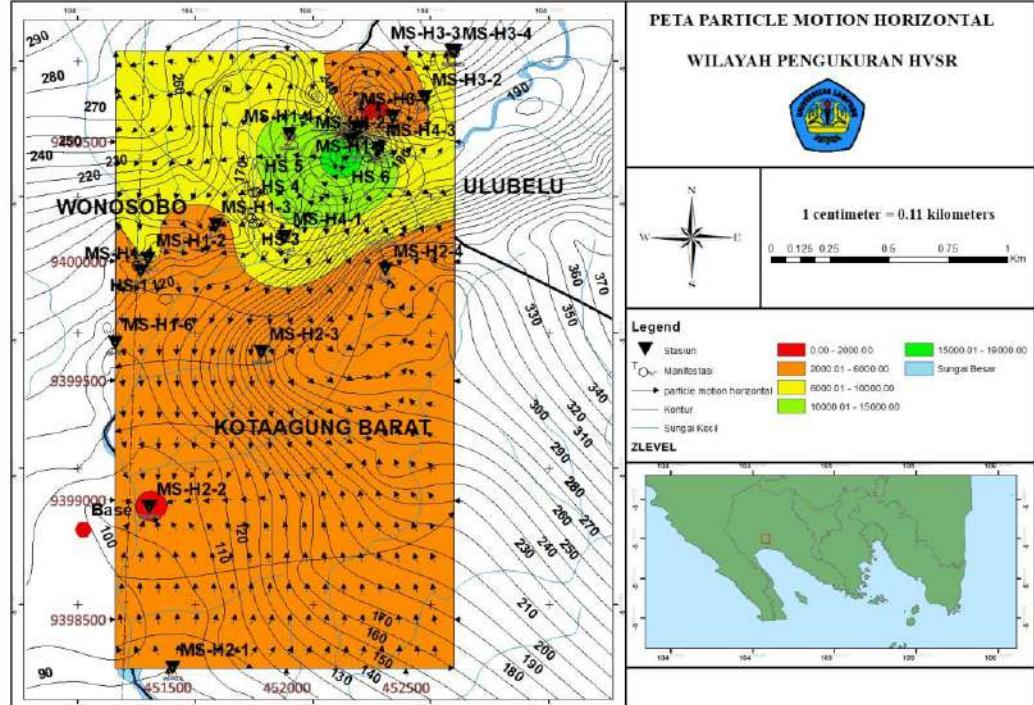
*Particle motion* adalah salah satu parameter yang digunakan dalam metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) untuk menganalisis data mikrotremor. *Particle motion* menggambarkan arah gerakan partikel tanah akibat getaran microtremor dan memberikan informasi arah gerakan partikel tanah pada setiap frekuensi. Hal ini dapat membantu dalam memahami perilaku tanah dan struktur geologi di bawah permukaan. Pada daerah penelitian, dapat diketahui bahwasannya secara umum arah dari *particle motion* secara horizontal yaitu Utara – Selatan dan *particle motion* secara vertical yaitu Utara – Selatan. Adapun peta dari arah *particle motion* baik secara vertical maupun horizontal dapat dilihat pada gambar 116 dan 117 di bawah ini.

Berdasarkan gambar 116 dan 117, dapat diketahui untuk arah dominan dari *partikel motion* baik secara vertical maupun horizontal yaitu mengarah Utara – Selatan. Namun, jika dilihat dari dilihat dari satu arah, maka arah *partikel motion* baik secara vertical maupun horizontal lebih cenderung ke arah Selatan. Hal ini diakibatkan karena pada bagian selatan daerah penelitian merupakan daerah yang memiliki ketebalan sedimen yang sangat tipis. Hal ini dapat dibuktikan dengan titik pengukuran paling selatan yaitu titik MS-H2-1 yang memiliki ketebalan sedimen 6.887 meter.

Gerakan partikel dapat mempengaruhi sedimentasi dan akumulasi sedimen. Partikel-partikel yang memiliki gerakan lebih aktif cenderung mengendap lebih lambat daripada partikel yang gerakannya lebih tenang. Gerakan partikel juga dapat mempengaruhi jarak dan jangkauan transportasi sedimen. Partikel-partikel yang memiliki gerakan yang lebih energik cenderung dapat terangkut lebih jauh dan menciptakan sedimen dengan ketebalan yang lebih tipis. Sebaliknya, partikel-partikel dengan gerakan yang lebih terbatas atau pengendapan yang cepat akan cenderung menghasilkan sedimen dengan ketebalan yang lebih besar.



Gambar 116. Peta *Particle motion* pada arah vertikal



Gambar 117. Peta *Particle motion* pada arah horizontal

## VI. KESIMPULAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Akuisisi data lapangan dilakukan di Pekon Way Panas, Kecamatan Wonosobo, Kabupaten Tanggamus, Lampung, dengan jumlah titik pengukuran sebanyak 17 titik yang terdistribusi secara acak dari elevasi 90 sampai dengan 312 meter serta keadaan lereng yang cukup curam. Akuisisi data mikrotremor menggunakan alat Amadu Seismometer Logic<sup>TM</sup>.
2. Pengolahan data dilakukan menggunakan *software* Geopsy yang menghasilkan data berupa kurva H/V, nilai frekuensi dominan, dan nilai amplifikasi. Sehingga dapat menentukan ketebalan sedimen dan indeks kerentanan tanah. Berdasarkan hasil pengolahan, maka dapat diketahui bahwasannya daerah penelitian memiliki nilai frekuensi dominan pada rentang nilai 3.46 – 17.095 Hz, nilai amplifikasi pada rentang nilai 1.089 – 3.915, nilai indeks kerentanan seismic dari 0.194 – 2.123, dan nilai ketebalan sedimen dari 6.887 – 42.18 meter.
3. Berdasarkan klasifikasi tanah *site class* Kanai, daerah penelitian yang memiliki potensi rawan gempa berada pada sisi timur laut daerah penelitian. Secara umum daerah penelitian memiliki nilai frekuensi dominan kategori jenis I yang memiliki ketebalan sedimen permukaan sangat tipis, didominasi oleh batuan keras, nilai amplifikasi <3 yang termasuk kategori rendah, indeks kerentanan seismic yang cukup rendah, dan ketebalan sedimen menengah sekitar 16.33 meter. Berdasarkan peta geologi regional lembar Kota Agung, daerah penelitian di dominasi oleh batuan lava andesit-basaltik, dan breksi. Hal ini menyebabkan secara umum daerah penelitian cukup aman terhadap getaran gempa.

## **6.2 Saran**

Setelah dilakukannya penelitian ini maka diperoleh beberapa hal yang dapat disarankan untuk menjadi bahan perbandingan dalam penelitian yang akan lebih lanjut. Adapun Saranya adalah sebagai berikut :

1. Diperlukannya data pendukung seperti data pemboran untuk melihat keakuratan dari litologi penyusun batuan di daerah penelitian.
2. Diperlukannya analisis lebih lanjut terhadap hasil interpretasi untuk mengetahui nilai karakteristik dinamika tanah yang ada pada daerah Waypanas, Tanggamus. Hal ini dikarenakan daerah penelitian merupakan dataran tinggi dengan formasi gelogi yang sama.
3. Dalam melakukan proses akuisisi data mikrotremor di lapangan, sebaiknya memperhatikan SOP penggunaan alat dan menghindari kejadian-kejadian yang dapat menimbulkan noise supaya data yang diperoleh bagus.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Amin, T.C., Sidarto, Santosa, S., dan Gunawan, W. (1993). *Geological Map of Kotaagung Quadrangle, Sumatera*. Center of Geological Survey, Bandung.
- Arifin, S. S., Mulyatno, B. S., Marjiyono, dan Setiyanegara R. (2013). Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2(1): 30-40.
- Arifti, F. W. (2014). Identifikasi Potensi Bahaya Seismik Berdasarkan Faktor Amplifikasi Tanah dan Ketebalan Sedimen Menggunakan Mikrotremor di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur. Skripsi. UIN Sunan Kalijaga. Yogyakarta.
- Castellaro, S., Mulargia F., dan Rossi, P. L. (2008). Vs30: Proxy for Seismic Amplification Seismology. *Res. Letters*; 79: 4. 540-543.
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. (2008). *Fubdamental of Earthquake Engieering.*, Wiley: Hongkong
- Hidayati, S. (2010). *Pengenalan Seismologi Gunungapi, Diklat Pelaksana Pemula Pengamat Gunungapi Baru*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Bandung.

Husein, S., Agung, S., Sapto, T.P., dan Hary, K. (2015). Pengendalian Tektonik Sistem Panas Bumi Way Panas, Lampung, Indonesia. *Prosiding Kongres Panas Bumi Dunia 2015*. Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.

Ibrahim, G. dan Subardjo. (2005). *Pengetahuan Seismologi*. Badan Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.

Kayal, J.R. (2008). *Microearthquake Seismology and Seismotectonics os South Asia.*, India: Capital Publishing Company.

Marjiyono, M. (2010). Estimasi Karakteristik Dinamika Tanah Dari Data Mikrotremor Wilayah Bandung. Tesis. ITB. Bandung.

Masdjuk, M. (1989). *Geologi Daerah Way Panas – Ulubelu, Lampung*. Pertamina, internal report (unpublished)

Mirzaoglu, M. Dan Dykmen, U. (2003). Aplication Of Microtremors to Seismic Microzonoining Procedure. *Journal Of The Balkan Geophysical Society*, Vol. 6, No.3, August, 2003, p. 143-156, 13 figs, 1 tan.

Musthofa, N, A. (2010). *Gempa Bumi, Tsunami Dan Mitigasinya*. Kebumen: LIPI Jawa Tengah.

Nakamura, Y. (1989). *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on The Ground Surface*. Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports, 30(1):25-33.

Nakamura, Y. (2000). Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applicatios. *Proceeding 12th World Conference on Earthquake Engineering*. New Zealand: Auckland.

Nakamura, Y., Gurler, E.D, Saita, J., Rovelli, A., dan Donati, S. (2000). Vulnerability Investigation of Roman Colloseum Using microtremor.

*Proceeding 12th World Conference on Earthquake Engineering.* New Zealand: Auckland.

Nakamura, Y. (2008). *On the H/V spectrum.* The 14th In World Conference on Earthquake Engineering. Beijing.

Nurrahmi. (2015). Analisis Kecepatan Gelombang Geser Vs30 Menggunakan Metode Refraksi Mikrotremor (Remi) di Kelurahan Talise. *Jurnal Gravitas* Vol.14 No.1.

Partono, W., Irsyam, M., Prabandiyani S. R.W., dan Maarif, S. (2013). *Applikasi Metode HVSR pada Perhitungan faktor Amplifikasi di Kota Semarang.* *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*, 19(2): 125-134.

Rahmatullah, F. S. 2013. Studi Potensi Likuifaksi Berdasarkan Indeks Kerentanan Seismik dan Percepatan Tanah Maksimum Kota Makassar. Tesis. Makassar: Universitas Hasanuddin.

Setiawan, J. H. (2009). Mikrozonasi Seismisitas Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya. Thesis. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Shaleha, A., Supriyadi, dan N. M. D. Putra. (2016). *Identifikasi Struktur Lapisan Tanah Daerah Rawan Longsor di Kecamatan Banyubiru Kabupaten Semarang dengan Metode Horizontal to Vertical Spectral ratio (HVSR).* Semarang: Universitas Negeri Semarang.

Sudrajat, A. (2016). Analisis Litologi Lapisan Sedimen Berdasarkan Metode Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR) Dan Data Bor Di Kawasan Jalur Sesar Opak. Skripsi. Universitas Negeri Yogyakarta.

- Suharno., Browne, P.R.L., Suengkono, S., Mulyanto, B.S., dan Sarkowi, M. (2005). Evolution of Rendingan-Ulubelu-Way Panas (RUW) Geothermal System Lampung, Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress 2005*, Turkey.
- Sulistianow, H., Supriyadi, dan Yulianti, I. (2016). *Analisis Seismic Hazard Berdasarkan Data Peak Ground Acceleration (PGA) dan Kerentanan Gempa Menggunakan Metode Mikroseismik di Daerah Kampus Unnes Sekaran, Gunungpati, Kota Semarang*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Sunardi, B., Rohadi, S., dan Masturyono, S. (2012). Relokasi Hiposenter Gempabumi Wilayah Jawa Menggunakan Teknik Double Difference. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 13(3), 179-188.
- Syahruddin, M.H., Aswad, S., Palullungan E.F., Maria, dan Syamsuddin. (2014). Penentuan Profil Ketebalan Sedimen Lintasan Kota Makassar dengan Mikrotremor. Universitas Hasanuddin. *Jurnal Fisika Vol. 4 No. 1, Mei 2014*.
- Sylvette, B. C., Cécile, C., Pierre-Yves, B., Fabrice, C., Peter, M., Jozef, K., dan Fäh, D. (2006). H/V ratio: a tool for site effects evaluation. Results from 1-D noise simulations. *Geophysical Journal International*, 167(2), 827-837.
- Van Bemmelen, R. (1949). *The Geology of Indonesia*. Gov. Print. Off., The Hague, Netherlands, 732 pp.
- Wangsadinata, W. (2006). *Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Berdasarkan SNI 726-2002*. Shortcourse HAKI. Jakarta.
- Warnana, D.D., Triwulan, S. dan Utama, W. (2011). Assessment to the soil-structure resonance using microtremor analysis on pare-east Java, Indonesia. *Asian Tran. Eng.*, 1(4), 6-12.

# **LAMPIRAN**



Lokasi titik pengukuran 1 Kelompok 1



Lokasi titik pengukuran 2 Kelompok 1



Lokasi titik pengukuran 5 Kelompok 1



Lokasi titik pengukuran 6 Kelompok 2



Lokasi titik pengukuran 8 Kelompok 2



Lokasi titik pengukuran 10 Kelompok 2



Lokasi titik pengukuran 11 Kelompok 2



Lokasi titik pengukuran 1 Kelompok 3



Lokasi titik pengukuran 2 Kelompok 3



Lokasi titik pengukuran 2B Kelompok 3



Lokasi titik pengukuran 3 Kelompok 3



Lokasi titik pengukuran 4 Kelompok 3



Lokasi titik pengukuran 5 Kelompok 3



Lokasi titik pengukuran 1 Kelompok 4



Lokasi titik pengukuran 2 Kelompok 4



Lokasi titik pengukuran 3 Kelompok 4



Lokasi titik pengukuran 4 Kelompok 4