



TUGAS AKHIR - RF184838

**PEMETAAN ALIRAN SUNGAI BAWAH PERMUKAAN  
MENGUNAKAN METODE MIKROTREMOR STUDI KASUS  
LUWENG DAWUNG LUWENG MUSUK PACITAN**

DIKI SETIAWAN  
NRP 03411640000048

**Dosen Pembimbing**

Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T  
NIP. 19690906 199702 1 001

Anik Hilyah, S.Si, M.T  
NIP. 19790813 200812 2 002

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020





TUGAS AKHIR - RF184838

**PEMETAAN ALIRAN SUNGAI BAWAH PERMUKAAN  
MENGUNAKAN METODE MIKROTREMOR STUDI KASUS  
LUWENG DAWUNG LUWENG MUSUK**

DIKI SETIAWAN  
NRP 03411640000048

**Dosen Pembimbing**  
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T  
NIP. 19690906 199702 1 001  
Anik Hilyah, S.Si, M.T  
NIP. 19790813 200812 2 002

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020



*Halaman sengaja dikosongkan*





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

UNDERGRADUATE THESIS - RF184838

**SUBSURFACE RIVER FLOW MAPPING USING MICROTREMOR  
METHOD STUDY CASE LUWENG DAWUNG LUWENG MUSUK  
PACITAN**

DIKI SETIAWAN  
NRP 03411640000048

**Supervisors**

Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T  
NIP. 19690906 199702 1 001  
Anik Hilyah, S.Si, M.T  
NIP. 19790813 200812 2 002

GEOPHYSICS ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Civil Engineering, Planning, and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*Halaman sengaja dikosongkan*



## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

Nama : Diki Setiawan  
NRP : 0341 16 40000 048  
Departemen : Teknik Geofisika  
Judul Tugas Akhir : Pemetaan Aliran Sungai Bawah Permukaan Menggunakan Metode Mikrotremor Studi Kasus Lurweg Dawung Lurweg Musuk Pacitan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 27 Juli 2020

1.   
Dr. Avi Syaeful Bahri, S.Si., M.T. (Pembimbing I)  
NIP. 1961102 4198803 1 001
2.   
Anik Hilviah, S.Si., M.T. (Pembimbing II)  
NIP. 197908132008122002
3.   
Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si (Penguji I)  
NIP. 19760123 200003 1 001
4.   
Nita Arivani, S.T., M. Eng (Penguji II)  
NIP. 370181001

Menyetujui,  
Kepala Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

  
DEPARTEMEN  
TEKNIK  
Dr. Dwa Desa Warnana  
NIP. 19760123 200003 1 001

*Halaman sengaja dikosongkan*

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul “Pemetaan Aliran Sungai Bawah Permukaan Menggunakan Metode Mikrotremor Studi Kasus Luweng Dawung Luweng Musuk Pacitan” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 19 Juni 2020



Diki Setiawan  
NRP. 0341164000048

*Halaman sengaja dikosongkan*

## **Pemetaan Aliran Sungai Bawah Permukaan Menggunakan Metode Mikrotremor Studi Kasus Luweng Dawung Luweng Musuk**

**Nama** : Diki Setiawan  
**NRP** : 0341164000048  
**Departemen** : Teknik Geofisika  
**Pembimbing I** : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T  
**Pembimbing II** : Anik Hilyah, S.Si, M.T

### **ABSTRAK**

Kawasan karst Donorojo, Pacitan merupakan daerah dengan bentang alam yang khas. Hal ini dibuktikan dengan adanya gua atau luweng di sekitar kecamatan Donorojo. Keberadaan luweng-luweng ini dapat diindikasikan adanya goa yang saling terhubung sehingga membentuk satu sistem sungai bawah permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sistem aliran sungai bawah permukaan yang bermanfaat untuk memetakan potensi sumber air di daerah Pacitan. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk penelitian sungai bawah permukaan adalah metode mikrotremor. Data mikrotremor tersebut diolah menggunakan tiga metode yaitu *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) , *Particle Motion*, dan *Time Frequency Analysis*. Berdasarkan interpretasi data tersebut, dapat digunakan untuk mengidentifikasi sungai bawah permukaan. Berdasarkan analisis nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ), terdapat dua zona karakter yaitu zona  $f_0$  yang bernilai rendah dengan rentang  $f_0 < 10$  dan dan zona  $f_0$  yang bernilai tinggi dengan rentang  $f_0 > 10\text{Hz}$ , berdasarkan analisa *particle motion* pada lokasi penelitian menunjukkan karakter pola aliran sungai yang memiliki orientasi arah Timur Laut-Barat Daya (NE-SW), dan berdasarkan analisis *Time Frequency Analysis* (TFA) terdapat kontinuitas amplitudo di daerah yang dialiri sungai dengan nilai amplitudo 2.000 -20.000 dB dengan rentang frekuensi 4-5 Hz pada komponen Z (Vertikal). Hasil analisa dan menunjukkan bahwa arah aliran sungai bawah permukaan pada lokasi penelitian dikontrol oleh Sesar Grindulu yang berada dekat dengan daerah penelitian.

**Kata Kunci** : Karst, *HVSr*, *Particle Motion*, *Time Frequency Analysis*

*Halaman sengaja dikosongkan*

## **Subsurface River Flow Mapping Using Microtremor Method Study Case Luweng Dawung Luweng Musuk Pacitan**

**Nama** : Diki Setiawan  
**NRP** : 03411640000048  
**Departemen** : Teknik Geofisika  
**Pembimbing I** : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T  
**Pembimbing II** : Anik Hilyah, S.Si, M.T

### ***ABSTRACT***

*The karst area of Donorojo, Pacitan is an area with a unique landscape. This can be proven by the existence of caves or luweng around the Donorojo sub-district. The existence of these luweng can be indicated by the existence of interconnected caves that form a subsurface river system. This study aims to identify an underground river flow system that is useful for mapping potential water sources in the Pacitan area. One of the geophysical method that can be used for subsurface river research is the microtremor method. The microtremor data is processed using three methods namely Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr), Particle Motion, and Time Frequency Analysis. Based on the interpretation of the data, it can be used to identify subsurface streams. Based on the analysis of the dominant frequency value ( $f_0$ ), there are two character zones, namely the low value  $f_0$  zone with a range of  $f_0 < 10$  and the high value  $f_0$  zone with a range of  $f_0 > 10\text{Hz}$ , based on particle motion analysis at the research location showing the character of river flow patterns that have orientation of the Northeast-Southwest direction (NE-SW), and based on the analysis of Time Frequency Analysis (TFA) there is continuity of amplitude in the area flowed by the river with an amplitude value of 2,000 -20,000 dB with a frequency range of 4-5 Hz in the Z component (Vertical) . The results of the analysis and reference of the study showed that the direction of the subsurface river at the study site was controlled by the Grindulu Fault which was close to the study area*

*Keywords : karst, HVSr, Particle Motion, Time Frequency Analysis*

*Halaman sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Pemetaan Aliran Sungai Bawah Permukaan Menggunakan Metode Mikrotremor Studi Kasus Luweng Dawung Luweng Musuk Pacitan” dengan baik. Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan secara motivasi, fasilitas dan doa.
3. Dr. Ayi Syaeful Bahri, M.T. dan Anik Hilyah, S.Si, M.T. selaku dosen pembimbing penulis atas arahan, saran dan kritik yang membangun dalam pelaksanaan Tugas Akhir.
4. Para dosen dan tenaga Pendidikan Departemen Teknik Geofisika ITS atas bimbingan dan bantuan selama pengerjaan Tugas Akhir dan perkuliahan.
5. Seluruh Tim TA Pacitan 2020 yang telah bekerja sama dalam pengerjaan Tugas Akhir.
6. Silmi Afina Aliyan, Putry Vibry Hardyani, Hanif F. Falah yang telah membantu dan memberikan saran selama pengerjaan Tugas Akhir.
7. Tim Geofisika UNPAD (Pak Bambang, Pak Budi, Evi Fazriati) yang telah membantu akuisisi selama beberapa hari.
8. Teman-teman kontrakan robot yang menemani pengerjaan Tugas Akhir selama Pandemi COVID19.
9. Safira Nur Latifa yang telah mengobati rasa jenuh selama pengerjaan Tugas Akhir.
10. Teman-teman TG-05 atas semangat dan dukungannya selama perkuliahan.

Penulis menyadari dalam penyelesaian Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan sebagai pembelajaran penulis dan khalayak umum. Semoga tugas akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 19 Juni 2020

Penulis

*Halaman sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
1.6 Target Luaran .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Dasar Teori.....	3
2.1.1 Geologi Regional Pacitan .....	3
2.1.1.1 Fisiografi Regional.....	4
2.1.1.2 Stratigrafi Regional .....	5
2.1.1.3 Sejarah Geologi.....	6
2.1.1.4 Karst.....	7
2.1.1.5 Sungai Bawah Permukaan.....	8
2.1.2 Metode Mikrotremor.....	10
2.1.2.1 Teori Dasar.....	10
2.1.2.2 HVS <sub>R</sub> (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) .....	11
2.1.2.3 Frekuensi Natural .....	11
2.1.2.4 Faktor Amplifikasi .....	13
2.1.2.5 Ketebalan Sedimen.....	14
2.1.2.6 Particle Motion.....	14
2.1.2.7 Time Frequency Analysis.....	15
2.2 Penelitian Terdahulu .....	15
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>17</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	17
3.2 Peralatan Penelitian .....	17
3.3 Desain Akuisisi .....	17
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	18
3.5 Prosedur Penelitian.....	19
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>29</b>
4.1 Hasil Pengolahan Metode HVS <sub>R</sub> .....	29

4.2 Analisa Hasil Data Pergerakan Partikel (Particle Motion).....	32
4.2.1 Analisa Data Particle Motion Pada Titik di Sekitar Luweng.....	32
4.2.2 Analisa Data Particle Motion Pada Daerah Antar Luweng .....	35
4.3 Analisa Hasil Data Time Frequency Analysis (TFA) .....	38
4.3.1 Analisa Data Time Frequency Analysis Pada Titik di Sekitar Luweng.....	38
4.3.2 Analisa Data Time Frequency Analysis Pada Daerah Antar Luweng 40	
4.4 Integrasi Hasil Analisa.....	42
<b>BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>51</b>
5.1 Kesimpulan .....	51
5.2 Saran .....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>53</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>56</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>	<b>77</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Peta Geologi Daerah Penelitian (Samodra and Gafoer, 1992 yang telah dimodifikasi) .....	3
<b>Gambar 2. 2</b> Pembagian Fisiografi Regional Jawa bagian Tengah dan Timur (Van Bemmelen, 1949) .....	4
<b>Gambar 2. 3</b> Stratigrafi Pegunungan Selatan dari beberapa peneliti (Surono, 1992). .....	6
<b>Gambar 2. 4</b> Teori terbentuknya gua dan sungai bawah permukaan pada kawasan karst (a) teori vadus, (b) teori Freatik Dalam (c) teorifreatik (Handayani, 2009) .....	9
<b>Gambar 3.1</b> Peta desain akuisisi penelitian	17
<b>Gambar 3.2</b> Diagram alir penelitian	18
<b>Gambar 3.3</b> Input <i>raw data</i> pada Easy HVS	20
<b>Gambar 3.4</b> <i>Selection Window</i>	21
<b>Gambar 3.5</b> <i>Frequency domain window</i>	21
<b>Gambar 3.6</b> <i>Manual selection window</i>	22
<b>Gambar 3.7</b> <i>Spectral Analysis Window</i>	22
<b>Gambar 3.8</b> <i>H/V window</i>	23
<b>Gambar 3.9</b> Nilai Frekuensi Dominan yang didapat	23
<b>Gambar 3.10</b> Tampilan pengaturan komponen pada Geopsy	24
<b>Gambar 3.11</b> <i>Particle motion toolbox</i>	25
<b>Gambar 3.12</b> <i>TFA Toolbox</i>	26
<b>Gambar 3.13</b> Hasil <i>Time Frequency Analysis</i> pada satu data	27
<b>Gambar 4. 1</b> Peta Persebaran Frekuensi Dominan	30
<b>Gambar 4. 2</b> <i>Overlay</i> peta kontur $f_0$ pada lokasi penelitian	31
<b>Gambar 4. 3</b> Resultan <i>particle motion</i> pada titik TDWG1	32
<b>Gambar 4. 4</b> Resultan <i>particle motion</i> pada titik TDWG2	33
<b>Gambar 4. 5</b> Resultan <i>particle motion</i> pada titik TDWG3	33
<b>Gambar 4. 6</b> Resultan <i>particle motion</i> pada titik TMSK1	34
<b>Gambar 4. 7</b> Resultan <i>particle motion</i> pada titik TMSK2	34
<b>Gambar 4. 8</b> Resultan <i>particle motion</i> pada titik TMSK3	35
<b>Gambar 4. 9</b> Resultan <i>Particle Motion</i> pada 22 titik pengukuran di daerah antar luweng	36
<b>Gambar 4. 10</b> Peta Korelasi resultan <i>Particle Motion</i>	37
<b>Gambar 4. 11</b> Hasil TFA pada titik TMSK3	38
<b>Gambar 4. 12</b> Hasil TFA pada titik TDWG3	39
<b>Gambar 4. 13</b> Hasil TFA pada titik T5	40

<b>Gambar 4. 14</b> Hasil TFA pada titik T12	41
<b>Gambar 4. 15</b> Hasil TFA pada titik T17	42
<b>Gambar 4. 16</b> <i>Overlay</i> peta kontur f0 pada lokasi penelitian	43
<b>Gambar 4. 17</b> <i>Plotting</i> lintasan resistivitas terhadap lokasi penelitian	44
<b>Gambar 4. 18</b> Hasil pengukuran resistivitas 2D lintasan NWG2 (Nawang Sari, 2020)	45
<b>Gambar 4. 19</b> Hasil pengukuran resistivitas 2D lintasan NWG3 (Nawang Sari, 2020)	45
<b>Gambar 4. 20</b> Hasil pengukuran resistivitas 2D lintasan NWG4 (Nawang Sari, 2020)	46
<b>Gambar 4. 21</b> Perkiraan arah aliran sungai bawah permukaan berdasarkan resultan <i>particle motion</i>	46
<b>Gambar 4. 22</b> Peta Geologi Daerah Penelitian (Samodra dan Gafoer, 1990 yang telah dimodifikasi)	47
<b>Gambar 4. 23</b> Pola kelurusan struktur sesar di Kabupaten Pacitan (Hidayat <i>et al.</i> , 2012)	47
<b>Gambar 4. 24</b> Peta Dugaan Kemenerusan Aliran Sungai Bawah Permukaan antara Luweng Dawung dan Luweng Musuk (Putri, 2020)	48

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan Mikrotremor oleh Kanai (Arifin et al., 2005) .....	12
<b>Tabel 2. 2</b> Klasifikasi Tanah Kanai – Omote Nakajima (dikutip dari bulletin meteorology dan Geofisika No. 4, 1998).....	13
<b>Tabel 4. 1</b> Nilai Frekuensi Dominan ( $f_0$ ) Pada Tiap Titik .....	29

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Karst merupakan suatu bentang alam yang khas dari muka bumi maupun bawah permukaan, yang terutama dibentuk oleh pelarutan dan pengendapan batuan karbonat oleh aliran air tanah. Salah satu bentangan karst yang ada di Indonesia adalah Kawasan Karst Gunung Sewu. Sebagian besar Kawasan Karst Gunungsewu ini termasuk dalam wilayah Kabupaten Gunungkidul, dan bagian-bagian kecil yang lain tersebar dalam wilayah Kabupaten Bantul, Kabupaten Wonogiri, dan Kabupaten Pacitan (ESDM, 2014). Kawasan karst dicirikan dengan minimnya sungai permukaan dan berkembangnya jalur-jalur sungai bawah permukaan) sehingga menyebabkan daerah karst sering dilanda kekeringan (Ford dan Williams, 2013).

Kabupaten Pacitan merupakan salah satu daerah di Jawa Timur yang sering mengalami kekeringan. Dalam catatan BPBD Pacitan terdapat 9 kecamatan yang tiap tahun mengalami kekeringan dan salah satunya adalah kecamatan Donorojo. Keberadaan sumber air di Kecaamatan Donorojo sebenarnya sangat melimpah, terdapat di terusan gua-gua vertikal atau luweng yang dialiri air. Namun pemanfaatan terhadap potensi sungai bawah permukaan yang ada di wilayah tersebut tidak dapat dilakukan bila tidak didukung oleh data persebaran lokasi dan jalur aliran sistem sungai bawah permukaan yang baik. Oleh karena itu penelitian dalam hal identifikasi dan pemetaan jalur sungai bawah menjadi suatu hal yang penting.

Penelitian ini menggunakan metode mikrotremor. Metode ini diterapkan dalam hal pengidentifikasian jalur sistem sungai bawah permukaan pada kawasan karst karena sungai bawah permukaan dapat diinterpretasikan sebagai sumber getar kontinyu yang memiliki karakter data mikrotremor yang khas. Data mikrotremor tersebut meliputi frekuensi, resultan pergerakan partikel dan amplitudo. Metode mikrotremor HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk mengidentifikasi sistem aliran sungai bawah permukaan yang bermanfaat untuk memetakan potensi sumber air di daerah Pacitan. Tetapi perlu dilakukan suatu karakterisasi terlebih dahulu terhadap daerah yang terdapat sungai di permukaan untuk melihat respon nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ), *particle motion*, maupun *Time Frequency Analysis* (TFA) baik di daerah yang dilewati sungai maupun daerah yang tidak dilewati sungai sehingga nantinya dapat menentukan parameter identifikasi sungai bawah permukaan berdasarkan karakter di atas permukaan (P. Chemistra dkk., 2018).

## 1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana persebaran nilai frekuensi dominan pada daerah penelitian berdasarkan analisis HVSR?
2. Bagaimana kemenerusan aliran sungai bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan analisis *Particle Motion*?
3. Bagaimana karakter sungai bawah permukaan pada daerah penelitian berdasarkan *Time Frequency Analysis*?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Metode pengolahan mikrotremor yang digunakan yaitu *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)*, *Particle Motion*, dan *Time Frequency Analysis*
2. Lokasi penelitian terfokus pada Luweng Dawung-Luweng Musuk yang berada di Desa Sekar, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Pacitan.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisa persebaran nilai frekuensi dominan yang menjadi dasar zonasi di lokasi penelitian berdasarkan analisis HVSR.
2. Memetakan aliran sungai bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan analisis *Particle Motion*.
3. Mengidentifikasi karakter sungai bawah permukaan pada daerah penelitian berdasarkan *Time Frequency Analysis*.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah :

1. Bagi akademis, penelitian ini dapat digunakan sebagai rujukan untuk penelitian terkait pemetaan aliran sungai bawah permukaan pada kawasan karst menggunakan metode mikrotremor.
2. Bagi sosial, analisis penelitian dapat digunakan untuk pengembangan kawasan karst Pacitan yang berkelanjutan.

## 1.6 Target Luaran

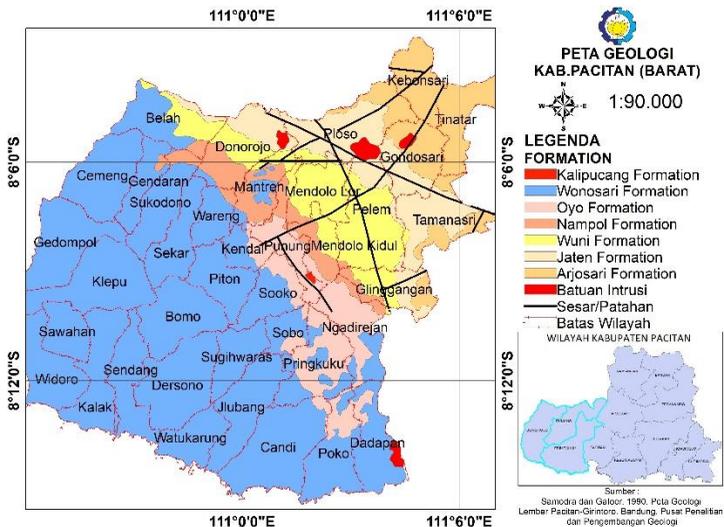
Luaran dari penelitian ini berupa paper dan jurnal mengenai pemetaan aliran sungai bawah permukaan pada kawasan karst Pacitan menggunakan integrasi metode mikrotremor dan resistivitas. Sekaligus diharapkan sebagai pengembangan kawasan karst Pacitan secara berkelanjutan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Dasar Teori

#### 2.1.1 Geologi Regional Pacitan

Pacitan merupakan kabupaten yang terletak di Pantai Selatan Jawa Timur dengan koordinat  $110^{\circ}55'111,25''$ BT dan  $7^{\circ}55'8,17''$ LS. Pacitan juga berada pada bagian selatan Pulau Jawa dengan rentang sekitar 80 km dan lebar 25 km. Kabupaten Pacitan memiliki luas wilayah sebesar 138987.16 Ha yang terdiri sebagian besar berupa perbukitan karst menyebar di seluruh wilayah Kabupaten Pacitan dan jurang terjal yang termasuk dalam deretan Gunung Sewu, sedangkan sebaliknya merupakan dataran rendah. Tanah kawasan Gunung Sewu memiliki ciri khas yang tanahnya didominasi oleh endapan gamping bercampur korali dari masa Miosen (dimulai sekitar 21.000.000 – 10.000.000 tahun silam). Endapan itu kemudian mengalami pengangkatan pada masa Holosen, yaitu lapisan geologi yang paling muda dan palinh singkat (sekitar 500.000 tahun silam– sekarang) (Samodra dan Gafoer, 1990). Daerah penelitian termasuk ke dalam Peta Geologi Regional Lembar Pacitan (Samodra dan Gafoer, 1990) serta Lembar Surakarta-Girintoro (Surono, 1992). Gambar berikut merupakan peta geologi daerah penelitian.



**Gambar 2.1** Peta Geologi Daerah Penelitian (Samodra and Gafoer, 1992 yang telah dimodifikasi)

### 2.1.1.1 Fisiografi Regional

Fisiografi Jawa Timur dibagi menjadi 4 (empat) zona jalur fisiografi, yaitu Zona Rembang di bagian Utara, kemudian ke bagian Selatan terdapat Zona Kendeng, kemudian Zona Solo dan di bagian paling Selatan adalah Zona Pegunungan Selatan, dan Kabupaten Pacitan termasuk dalam Zona Pegunungan Selatan (Van Bemmelen, 1949).



**Gambar 2 2** Pembagian Fisiografi Regional Jawa bagian Tengah dan Timur (Van Bemmelen, 1949)

Pegunungan Selatan merupakan perbukitan yang terangkat dan miring ke arah selatan. Daerah ini merupakan daerah perbukitan ber relief sedang hingga terjal yang terbentuk dari batuan beku dan vulkanik di bagian utara, dataran tinggi karst di bagian tengah, dan perbukitan kerucut karst di bagian selatan. Sebagaimana terlihat pada gambar 2.2, daerah penelitian termasuk dalam zona pegunungan selatan bagian selatan yang terdiri dari perbukitan karst. Menurut (Van Bemmelen, 1949) Zona Pegunungan Selatan dibagi menjadi tiga subzona, yaitu Subzona Baturagung, Subzona Wonosari dan Subzona Gunung Sewu. Subzona Baturagung terletak di bagian utara, namun membentang dari barat pada tinggian G. Sudimoro hingga ke sebelah timur G. Gajahmungkur. Subzona Baturagung ini membentuk relief paling kasar dengan sudut lereng antara 100 – 300 dan beda tinggi 200-700 meter serta hampir seluruhnya tersusun oleh batuan asal gunungapi. Subzona Wonosari merupakan dataran tinggi yang terletak di bagian tengah Zona Pegunungan Selatan, yaitu di daerah Wonosari dan sekitarnya. Dataran ini dibatasi oleh Subzona Baturagung di sebelah barat dan utara, sedangkan di sebelah selatan dan timur berbatasan dengan Subzona Gunung Sewu (Lehmann, 1981). Aliran sungai utama di daerah ini adalah Kali Oyo yang mengalir ke barat dan menyatu dengan Kali Opak. Endapan permukaan di daerah ini adalah lempung hitam dan endapan danau purba,

sedangkan batuan dasarnya adalah batu gamping. Subzona Gunung Sewu merupakan perbukitan dengan bentang alam karst, yaitu bentang alam dengan bukit-bukit batu gamping yang membentuk banyak kerucut dengan ketinggian beberapa puluh meter. Di antara bukit - bukit ini banyak ditemukan telaga, luweng (sink holes) dan di bawah permukaan terdapat gua yang tersusun oleh batu gamping serta aliran sungai bawah permukaan. Daerah penelitian termasuk dalam subzona ini dengan yang menargetkan sungai bawah permukaan yang diindikasikan dengan keberadaan luweng/gua vertikal (Van Bemmelen, 1949).

Kawasan karst Gunung Sewu dihasilkan oleh pengangkatan yang dimulai pada Pleiosen Akhir. Bagian utara kawasan karst Gunung Sewu dibatasi oleh cekungan (basin) Wonosari dan Baturetno yang tersusun atas material gamping, namun memiliki tingkat karstifikasi yang tidak intensif. Kedua cekungan ini memisahkan kawasan Karst Gunung Sewu dengan pegunungan berbatuan sedimen vulkano klastik yang lebih dikenal dengan Pegunungan Baturagung. Kawasan karst Gunung Sewu terdiri dari batu gamping berumur miosen tengah. Perkembangan topografi karst dengan kenampakan permukaan berupa dolina-dolina yang dipisahkan oleh bukit-bukit yang terlihat membulat yang disebut kubah kapur, dan sungai bawah permukaan (Haryono dan Adji, 2016).

#### **2.1.1.2 Stratigrafi Regional**

Stratigrafi daerah penelitian termasuk dalam pegunungan selatan. Susunan litostratigrafi pegunungan selatan menurut (Prasetyadi dkk., 2011) dari tua ke muda sebagaimana tampak pada gambar 2.3 adalah formasi Wungkal Gamping, Kebo Butak, Semilir, Nglanggran, Sambipitu, Oyo, Wonosari, dan Kepek. Gambar 2.3 menunjukkan Stratigrafi barat dan timur zona Pegunungan Selatan. Kotak merah menunjukkan formasi pada lokasi penelitian yang berada di Desa Sekar Kecamatan Donorejo, Pacitan yang masuk dalam formasi wonosari. Formasi Wonosari (Tmwl) tersusun atas batu gamping terumbu, batu gamping berlapis, batu gamping mengeping, batu gamping pasiran, dan napal. Ketebalan formasi ini diduga lebih dari 800 meter. Kedudukan stratigrafinya di bagian bawah menyebar dengan Formasi Oyo. Batugamping pada Formasi wonosari ditemukan fosil foraminifera besar berupa *Mioegysina sp.* dan *Lapidocyclina sp.* Berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, dan terbentuk di lingkungan laut.

KALA	ZONASI BLOW (1969)	PENELITI				
		BOTHE (1929)	VAN BEMMELEN (1949)	SUMARSO-ISMOTYOWATI (1975)	SURONO, dkk. (1992)	
HOLOSEN	N.23			Endapan Vulkanik Muda dan Aluvium		
	N.22					
PLIOSEN	N.21					
	N.20					
MIOSEN	N.19					
	N.18					
	N.17					
	AKHIR	N.16	Kepek			Kepek
		N.15		Wonosari		Wonosari
	TENGAH	N.14				
		N.13				
	N.12	Wonosari	Sambipitu	Wonosari		
	N.11		Nglanggran			
	N.10		Semilir			
AWAL	N.9	Oyo	Kebo Butak			
	N.8				Sambipitu	
N.7	Sambipitu		Semilir			
N.6						
N.5	Nglanggran					
N.4						
OLIGOSEN	N.3 (P.22)	Semilir		Kebo Butak	Kebo Butak	
	N.2 (P.21)	Kebo Butak				
	N.1 (P.20)					
	P.19					
TENGAH	P.18					
	P.17					
Eosen	AKHIR	P.16		Gamping		
		P.15	Wungkal Gamping		Wungkal Gamping	
	TENGAH	P.14				
		P.13				

Gambar 2.3 Stratigrafi Pegunungan Selatan dari beberapa peneliti (Suroño, 1992).

### 2.1.1.3 Sejarah Geologi

Cekungan pengendapan Pegunungan Selatan mengalami pengangkatan dan berubah menjadi dangkalan pada akhir Miosen Awal atau permulaan Miosen Tengah (2015 juta tahun lalu). Perubahan muka laut yang terjadi sesudahnya menyebabkan terjadinya proses genang laut, yang diikuti dengan pengendapan batuan Formasi Oyo. Kegiatan tektonik kegunungapian di daratan mempengaruhi sedimentasi (karbonat) yang sedang terjadi di lingkungan laut dangkal. Beragam jenis klastika asal-daratan dan tuf masuk ke dalam cekungan, menghasilkan Formasi Oyo yang bersifat klastik. Di dasar paparan yang berbatasan dengan daratan yang mulai stabil terbentuk terumbu-terumbu koral Formasi Wonosari. Keadaan tektonik yang stabil hingga permulaan Miosen Akhir menciptakan kondisi yang sangat memungkinkan bagi pertumbuhan dan perkembangan batugamping terumbu paparan Formasi Wonosari. Kegiatan tektonik yang aktif pada Miosen Akhir menghasilkan sesar-sesar turun sehingga kawasan menciptakan bentukan sembulan (horst) dan amblesan (graben). Daerah tinggian kemudian mengalami pengikisan, dan batuan rombakan yang dihasilkan diendapkan pada cekungan yang semakin dangkal. Kemudian terbentuk Formasi Kepek berumur Miosen Akhir-Pliosen Awal. Pada Pliosen cekungan terangkat ke permukaan laut, dibuktikan dengan tidak ada endapan

yang berlingkungan laut. Begitu seluruh kawasan Gunung Sewu terangkat di permukaan laut, gejala karstifikasi pun dimulai. Kekar dan sesar yang menyertai proses pengangkatan di Gunung Sewu merupakan bidang-bidang lemah yang mudah sekali mengalami pengikisan dan pelarutan. Air permukaan yang mengalir di sepanjang struktur geologi tersebut akan mengubah lembah sungai menjadi lebih dalam dan lebar. Beberapa mulut gua berukuran kecil yang tersingkap bersebelahan di beberapa bagian lereng lembah dan mempunyai ketinggian yang hampir sama, menunjukkan adanya gejala pemotongan sistem lorong bawah tanah oleh sesar. Lorong-lorong gua yang pernah aktif sebelum terjadi pengangkatan mempunyai arah hampir barat-timur (Haryono dan Adji, 2016).

#### **2.1.1.4 Karst**

Karst merupakan istilah dalam Bahasa Jerman yang diturunkan dari bahasa Slovenia (*kras*) yang memiliki arti lahan gersang berbatu. Ford dan Williams (2013) mendefinisikan karst sebagai medan dengan kondisi hidrologi yang khas sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik. Karst dicirikan sebagai berikut :

1. Terdapatnya cekungan tertutup dan atau lembah kering dalam berbagai ukuran dan bentuk.
2. Jarang ditemukan adanya drainase/sungai permukaan, dan
3. Terdapatnya goa dari sistem drainase bawah tanah.

Karst tidak hanya terjadi di daerah bebatuan karbonat, tetapi terjadi juga di batuan lain yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder (kekar dan sesar intensif), seperti batuan gypsum dan batugaram. Namun, dikarenakan batuan karbonat mempunyai sebaran yang paling luas, karst yang banyak dijumpai adalah karst yang berkembang di batuan karbonat.

Kawasan karst memiliki karakteristik relief dan drainase yang khas, terutama disebabkan oleh larutnya batuan yang tinggi di dalam air, jika dibandingkan dengan daerah lain. Pada kawasan ini dapat diketahui dengan adanya aliran sungai yang secara tiba tiba masuk tanah meninggalkan lembah kering dan muncul sebagai mata air yang besar. Pada daerah ini pola pengaliran tidak sempurna , kadang tampak, kadang hilang, yang disebut sebagai sungai bawah permukaan karst merupakan kawasan yang mudah rusak. Batuan dasarnya mudah larut sehingga mudah sekali terbentuk goa-goa bawah tanah dari celah dan retakan. Mulai banyaknya pemukiman penduduk yang terdapat di daerah ini akan berpengaruh terhadap tingginya tingkat pencemaran dan kerusakan lingkungan. Serta bahaya dari alam sendiri berupa bencana alam guguran batuan dan runtuhnya goa bawah tanah.

Adapun menurut (Haryono & Adji, 2004) proses karstifikasi dipengaruhi oleh dua faktor yaitu faktor pengontrol dan pendorong. Faktor pendorong terdiri dari batuan mudah larut, kompak, tebal, dan mempunyai banyak rekahan, curah hujan yang cukup (>250 mm/tahun) dan batuan terekspos

di ketinggian yang memungkinkan perkembangan sirkulasi air/drainase secara vertikal. Sedangkan faktor pengontrol antara lain temperatur dan penutupan hutan. Secara ringkas faktor pengontrol merupakan aspek yang menentukan dapat tidaknya proses karstifikasi terjadi, sedangkan faktor pendorong adalah faktor yang menentukan kecepatan dan kesempurnaan proses karstifikasi.

#### **2.1.1.5 Sungai Bawah Permukaan**

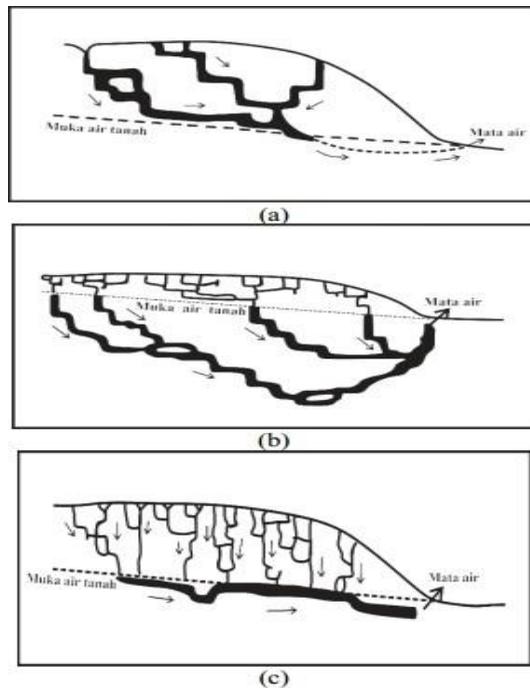
Menurut Samodra (2003), sistem hidrologi pada kawasan karst berbeda dengan kawasan bukan karst. Pada kawasan karst air mengalir melalui sistem retakan celah gua, sedangkan kawasan bukan karst Gerakan air tanahnya melalui pori-pori antar butiran batuan atau mineral. Gua dan sungai bawah permukaan yang dapat dijumpai di wilayah kawasan karst terjadi karena karena karst memiliki ciri khas batuan yang memiliki banyak rongga serta mudah larut dengan air. Sehingga mengakibatkan tidak berkembang sistem sungai permukaan namun menghasilkan sistem sungai bawah permukaan yang lebih dominan (Ford & Williams, 2013).

Hidrologi adalah cabang dari ilmu geografi fisik yang berurusan dengan air di muka bumi dengan sorotan khusus pada sifat, fenomena dan distribusi air di daratan. Hidrologi dikategorikan secara khusus mempelajari kejadian air di daratan/bumi, deskripsi pengaruh sifat daratan terhadap air, pengaruh fisik air terhadap daratan dan mempelajari hubungan air dengan kehidupan (Linsley, 1949). Pada sisi yang lain, karst dikenal sebagai suatu kawasan yang unik dan dicirikan topografi eksokarst seperti lembah karst, doline, uvala, polje, karren, kerucut karst dan berkembangnya sistem drainase bawah permukaan yang jauh lebih dominan dibandingkan dengan sistem aliran permukaannya (Adji dkk., 1999). Jumlah air dalam siklus hidrologi selalu tetap dan hanya berubah distribusinya saja dari waktu ke waktu akibat adanya pengaruh dari factor tertentu (Haryono dan Adji, 2016). Karena sifatnya, fokus dari hidrologi karst adalah bukan pada air permukaan tetapi pada air yang tersimpan di bawah tanah pada sistem-sistem drainase bawah permukaan karst.

Rekahan batuan merupakan jalan masuknya air membentuk drainase vertikal dan berkembangnya sungai bawah permukaan serta pelarutan yang terkonsentrasi. Air yang terdapat di batuan gamping bersifat dinamis, karena air tersebut bergerak dari permukaan sampai ke zona jenuh air. Pergerakan air ini, berdasarkan dari jalur yang dilalui air berpotensi terjadinya pelarutan batuanannya sehingga dalam jangka waktu tertentu terbentuklah lubang yang diameternya cukup besar. Maka terbentuklah sistem sungai bawah permukaan di daerah karst. Pada sistem pegunungan karst, level elevasi topografi antara 100-200 m merupakan kisaran elevasi dimana dapat ditemukan gua yang mengandung air. Air hujan yang meresap melalui rekahan di permukaan akan mengalir melalui retakan - retakan hingga mencapai ketinggian 200 m dan terakumulasi pada level elevasi antara 100-200 m secara bertingkat-tingkat dengan kontrol bidang kekar dan bidang perlapisan (Haryono & Adji, 2004).



Ford dan William dalam Handayani (2009) menjelaskan bahwa pembentukan gua dan sistem sungai bawah permukaan pada kawasan karst dibagi menjadi tiga teori seperti diilustrasikan pada Gambar 2.4 dibawah ini :



**Gambar 2. 4** Teori terbentuknya gua dan sungai bawah permukaan pada kawasan karst (a) teori vadus, (b) teori Freatik Dalam (c) teorifreatik (Ford & Williams, 1992)

Gambar 2.4 mengilustrasikan proses terbentuknya gua dan sungai bawah pada kawasan karst. Teori pembentukan dan perkembangan gua kawasan karst dipengaruhi oleh posisi relatif air yang melarutkan batuan dengan posisi muka air tanah pada daerah dimana gua tersebut terbentuk. Gua-gua yang berada dikawasan karst terbentuk oleh proses pelarutan air yang bersifat asam terhadap batu karbonat. Sisa-sisa dari pelarutan batuan karbonat yang membentuk gua berupa rongga- rongga. Teori proses terbentuknya gua karst dibagi menjadi tiga yaitu teori Vadus (*Vadose Theory*), teori Freatik Dalam (*Deep Phreatic Theory*) dan teori Freatik Dangkal (*Shallow Phreatic Theory*) (Ford & Williams, 1992).

Teori Vadus (*Vadose Theory*) menyatakan proses terbentuk gua karst disebabkan oleh adanya arus bawah tanah yang mengalir, baik pada atau di atas permukaan air tanah (*water table*) pada Gambar 2.4 (a). Dalam hal ini, air yang

menginfiltrasi secara vertikal kedalam tanah melalui luweng-luweng sampai air mencapai zona saturasi (zona jenuh air). Setelah air mencapai zona saturasi maka pergerakannya mulai kearah horizontal melalui celah-celah yang sudah ada, seperti bidang perlapisan, kekar, retakan, dan sebagainya. Selama bergerak, air mengerosi dan melarutkan bagian demi bagian batugamping yang dilaluinya. Hal ini mengakibatkan celah-celah tersebut perlahan-lahan semakin lebar hingga akhirnya membentuk saluran- saluran atau terowongan-terowongan (Ford & Williams, 1992).

Teori Freatik Dalam (*Deep Phreatic Theory*) pada Gambar 2.4 (b) terdiri atas tiga tahapan terbentuknya gua dan sungai bawah permukaan. Tahapan pertama merupakan tahap pelarutan, pada tahapan ini terjadinya proses pelarutan dari persebaran air pada bawah permukaan yang terletak di daerah zona freatik. Kemudian tahapan kedua merupakan tahap pengisian, dimana sudah terbentuknya sebuah gua atau lorong dengan diameter cukup besar yang sudah terisi air. Sehingga airnya tidak mengalami pergerakan maka mengakibatkan pengendapan material berupa lempung yang berasal dari material yang terbawa oleh air saat terjadi proses pelarutan secara serentak. Tahapan ketiga merupakan tahap pengeringan, yaitu terjadinya proses penaikan lapisan tanah sehingga terjadinya pergeseran zona vadus ke bawah yang menyebabkan terjadi pengeringan dalam gua (Ford & Williams, 1992).

Teori ketiga yaitu teori freatik dangkal (*shallow Phreatic Theory*) yang diilustrasikan pada Gambar 2.4 (c). Pada teori ini terdapat empat tahapan pembentukan gua dan sungai bawah permukaan. Tahapan pertama merupakan tahap pelarutan batuan yang terjadi secara acak pada kedalaman tertentu secara vertikal ke bawah. Kemudian tahapan kedua merupakan penggabungan dan pengembangan dari hasil pelarutan yaitu berupa saluran-saluran gua. Setelah itu, pada tahapan ketiga merupakan tahap pengendapan material dan pengisian air pada saluran-saluran gua. Dan pada tahapan keempat merupakan tahap pengangkatan lapisan tanah dan erosi. Dalam tahapan keempat ini mengakibatkan saluran gua terangkat di atas level air tanah (Ford & Williams, 1992).

Sebagian gua-gua yang terdapat di daerah Gunung Sewu merupakan gua yang terbentuk di zona vadus, dan sebagian lainnya merupakan gua yang terbentuk pada level muka air tanah. Gua-gua pada zona vadus di Gunung Sewu biasanya dialiri air hanya pada musim penghujan.

## **2.1.2 Metode Mikrotremor**

### **2.1.2.1 Teori Dasar**

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang disebabkan oleh sumber alam seperti angin maupun gelombang laut yang berperiode panjang atau gangguan buatan lainnya (Sitorus dkk., 2017). Getaran tersebut dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam maupun buatan. Peristiwa buatan biasanya

disebabkan oleh aktifitas manusia seperti gerak dari mesin kendaraan, industry, serta aktifitas mdikianusia lainnya di permukaan bumi. Sedangkan peristiwa alam berupa variasi tekanan atmosfer, angin, hujan, dan gelombang air laut. Getaran yang dimaksud bukan merupakan peristiwa dengan durasi yang pendek seperti ketika terjadi gempa ataupun ledakan (Seht dan Wohlenberg, 1999). Mikrotremor diterapkan untuk menentukan karakteristik (frekuensi dominan dan factor amplifikasi) dari lapisan tanah yang dipelopori oleh kanai dan tanaka pada tahun 1954. Pengukuran mikrotremor sering dipraktikkan untuk mengamati karakteristik pergerakan tanah yang dapat ditinjau dari penjalaran gelombang seismik. Beberapa parameter fisis yang dapat dilihat dari penjalaran gelombang tersebut adalah kecepatan gelombang seismik, variasi amplitude, frekuensi serta periode gelombang. Mikrotremor yang disebabkan oleh gerakan bawah permukaan memiliki amplitude antara 0,1 mikro – 1,0 mikro (Kanai dkk., 1954).

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

*Horizontal to Vertical Spectral ratio* (HVSR) merupakan metode yang didasarkan pada asumsi bahwa rasio spectrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan. Hal itu menunjukkan bahwa karakteristik dinamis lapisan permukaan secara kasar bias dipahami pada titik yang diobservasi, jika pengamatan bentuk gelombang seismik tremor dilakukan pada tiga komponen, dua komponen horizontal dan 1 komponen vertical (Nakamura, 1989).

Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* ini merupakan salah satu metode yang biasa digunakan untuk mengideidentifikasi kedalaman *bedrock*. Parameter yang digunakan dalam metode HVSR ini adalah amplifikasi dan frekuensi natural. Kedua parameter ini berhubungan dengan parameter fisis bawah permukaan guna mengetahui karakteristik daerah penelitian secara geologi (Fäh dkk., 2001)

### **2.1.1.3 *Frekuensi Natural***

Pengolahan dengan menggunakan metode HVSR menghasilkan nilai frekuensi dominan serta nilai amplifikasi dengan menggunakan konsep transformasi *fourier*. Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dominan dari lapisan batuan wilayah tersebut, sehingga nilai frekuensi dominan dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut. Tahun 1949 Lachet dan Brad melakukan uji simulasi dengan menggunakan enam model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan tanah. Hasil simulasi menunjukkan puncak nilai frekuensi dominan berubah terhadap variasi kondisi geologi (Tabel 2.1)

**Tabel 2.1** Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan Mikrotremor oleh Kanai (Arifin et al., 2005)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Tanah Kanai	Deskripsi Tanah
Type	Jenis			
I	I	<2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta. <i>Top Soil</i> , Lumpur kedalaman 30m atau lebih.	Ketebalan permukaan sedimen sangat tebal
II				
III	I	2,5-4	batuan alluvial dengan ketebalan sedimen >5m yang terdiri dari <i>sandy gravel, sandy hard clay, loam</i> .	Ketebalan permukaan sedimen masuk dalam kategori tebal, sekitar 10-30 m.
IV	I	4-10	batuan alluvial dengan ketebalan 5m terdiri dari <i>sandy gravel, sandy hard clay, loam</i>	ketebalan sedimen permukaan tergolong masuk dalam kategori menengah 5-10 m
	II	6,667-20	batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sany, gravel</i> .	ketebalan sedimen permukaan tipis didominasi oleh batuan keras.

Frekuensi dominan berkaitan dengan periode dominan tanah. Nilai periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan untuk merambat melewati lapisan sedimen permukaan atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya (Arifin et al., 2014). Nilai periode dominan juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakter lapisan batuan yang ada pada lokasi penelitian. Nilai periode dominan didapatkan berdasarkan perhitungan sebagai berikut :

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

Untuk  $T_0$  adalah periode dominan dan  $f_0$  merupakan frekuensi dominan. Dalam hal ini Kanai, Omote, dan Nakajima juga telah mengklasifikasikan tanah berdasarkan periode dominan tanah. Dan zhao mengklasifikasikan tanah kedalam empat kelas yang mengacu pada site *classification* dari NEHRP (*National Earthquake Hazard Reduction Program*).

**Tabel 2.2** Klasifikasi Tanah Kanai – Omote Nakajima (dikutip dari bulletin meteorology dan Geofisika No. 4, 1998)

Klasifikasi Tanah		Periode (T) sekon	Keterangan	Karakter
Kanai	Omote-Nakajima			
Jenis I	Jenis A	0,05-0,15	batuan tesier atau lebih tua terdiri dari batuan pasir berkerikil keras	Keras
Jenis II		0,15-0,25	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m. Terdiri dari pasir berkerikil (sandy gravel), lempung keras (sandy hard clay), tanah liat, dan lempung (loam)	Sedang
Jenis III	Jenis B	0,25-0,40	batuan alluvial hampir sama dengan Jenis II hanya dibedakan oleh adanya formasi bluff	Lunak
Jenis IV	Jenis C	>0.40	Batuan alluvial terbentuk dari sedimentasi delta, topsoil, lumpur, humus, endapan delta atau endapan lumpur yang tergolong ke dalam tanah lembek	Sangat Lunak

#### 2.1.2.4 *Faktor Amplifikasi*

Amplifikasi dapat terjadi akibat dari adanya perbesaran gelombang seismik karena perbedaan yang mencolok antar lapisan. Artinya gelombang seismik akan mengalami perbesaran jika melalui medium yang lebih lunak daripada medium awal yang dilaluinya. Jika semakin besar perbedaan itu maka perbesaran gelombang juga semakin besar pula. Nilai penguatan amplifikasi

tanah berkaitan dengan kontras impedansi lapisan di permukaan dan lapisan di bawahnya. Apabila kontras impedansi kedua lapisan tersebut tinggi maka terjadi factor penguatan yang tinggi pula, begitupun sebaliknya (Nakamura, 1989). Sehingga dikaitkan antara fungsi perbandingan kontras impedansi sebagai berikut :

$$A_0 = \frac{\rho_b V_b}{\rho_s V_s} \quad (2)$$

Untuk  $A_0$  adalah faktor amplifikasi,  $\rho_b$  adalah densitas batuan dasar,  $V_b$  adalah kecepatan rambat gelombang batuan dasar,  $\rho_s$  adalah densitas batuan lunak,  $V_s$  adalah kecepatan rambat gelombang batuan lunak.

#### 2.1.2.5 *Ketebalan Sedimen*

Ketebalan lapisan sedimen merupakan ketebalan lapisan lunak pada lapisan tanah yang diendapkan di atas batuan dasar atau *bedrock*. Lapisan sedimen yang dimaksudkan dalam analisis mikrotremor ini adalah lapisan tanah yang bagian atas dimana memiliki kecepatan relative rendah. Definisi *bedrock* yang dimaksud adalah lapisan yanah bagian bawah yang kecepatannya lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan sedimen yang berada diatasnya. Hubungan ketebalan sedimen dengan frekuensi natural dan kecepatan geolmbang geser seperti pada persamaan berikut:

$$H = \frac{V_s}{4f_0} \quad (3)$$

#### 2.1.2.6 *Particle Motion*

Proses menentukan arah gerak patikel (*Particle Motion*) gelombang gempa bertujuan untuk mengetahui kecenderungan arah gerak partikel dari ketiga komponen hasil rekaman. Plot pergerakan partikel (*Particle Motion*) pada komponen horizontal dan vertikal juga dapat digunakan untuk menentukan episenter dan hiposenter suatu gempa. Episenter dan hiposenter gempa diperkirakan dengan melihat arah pergerakan partikelnya, kemudian dilakukan perhitungan. Prinsip dari pergerakan partikel untuk menentukan episenter dan hiposenter ini dapat diterapkan untuk mengarakterisasi daerah sekitar sungai (Kurniawati, 2014).

Aliran Sungai merupakan sumber frekuensi alami yang artinya dapat memberikan getaran yang dapat memengaruhi nilai frekuensi terhadap daerah di sekitarnya. Berdasarkan analisa pergerakan partikel (*Particle Motion*) terhadap daerah di sekitarnya, pergerakannya pasti memiliki pola tertentu dengan arah yang kurang lebih tegak lurus terhadap arah aliran sungai yang mengindikasikan bahwa sumber frekuensi daerah sekitar sungai atau nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) daerah sekitar sungai dipengaruhi secara langsung oleh aliran sungai itu sendiri.

Prinsip ini dapat digunakan untuk memprediksi aliran sungai pada tahap awal dengan melihat karakter atau pola pergerakan partikel dari titik yang diukur (P. Chemistra dkk., 2018).

#### **2.1.2.7 Time Frequency Analysis**

Dalam pengolahan sinyal, *Time Frequency Analysis* (TFA) meninjau sinyal dalam tampilan satu dimensi dalam domain waktu atau hasil transformasinya, melalui TFA dapat dikaji sinyal secara dua dimensi yang diperoleh melalui *Time Frequency Transform* (Cohen, 1995).

Transformasi Fourier merupakan algoritma matematika yang dapat mengubah sinyal pada domain waktu menjadi domain frekuensi. Jika sinyal sismik ditransformasikan ke dalam domain frekuensi dengan persamaan Fourier, akan diberikan seluruh informasi dari frekuensi yang terdapat di dalam sinyal tersebut. Dalam analisis spectrum sinyal, sinyal akan tersegmentasi menjadi jendela waktu yang kecil (*windowing*), hal ini dikarenakan sinyal seismik terdiri dari berbagai macam gelombang yang berasal dari banyak reflector. Kemudian dengan mengubah segmen tersebut menjadi domain frekuensi, maka dapat diperoleh informasi mengenai frekuensi local dari sebuah sinyal di sepanjang waktu tersebut. Pendekatan seperti ini disebut dengan *Short Time Fourier Transform* (STFT) (Paul Chemistra dkk., 2018).

Keterbatasan STFT yaitu kesulitan dalam penentuan jendela (*window*) yang optimal. Hal ini dikarenakan untuk mendapatkan resolusi yang baik dalam kawasan waktu diperlukan *window* berdurasi pendek agar asumsi sinyal stationer semakin baik yang berakibat rendahnya resolusi frekuensi, demikian juga sebaliknya. Untuk mengatasi keterbatasan hal tersebut, diperlukan suatu analisis multiresolusi dengan window waktu-frekuensi yang berubah-ubah walaupun dimensi luasnya tetap. Analisis ini dapat menghasilkan resolusi frekuensi yang tinggi dan resolusi waktu yang rendah pada frekuensi rendah, dan berlaku sebaliknya untuk frekuensi tinggi. Hal ini bersesuaian dengan sinyal seismik yang umumnya memiliki komponen frekuensi tinggi dalam durasi pendek. Analisis multiresolusi dilakukan menggunakan suatu fungsi yang mampu bertranslasi dan berdilatasi, kemampuan fungsi tersebut dapat dipenuhi oleh *wavelet* (Kumar dan Foufoula-Georgiou, 1997).

## **2.2 Penelitian Terdahulu**

Penelitian terdahulu yang dijadikan referensi adalah penelitian yang dilakukan oleh (Paul Chemistra dkk., 2018). Penelitian tersebut dilakukan untuk mengkarakterisasi data mikrotremor di Desa Sekar, Kecamatan Donorejo, Pacitan. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa berdasarkan analisis kurva HVSR, pada wilayah penelitian tersebut terdapat dua zona karakter nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) berdasarkan lokasi pengukuran yaitu zona I bernilai rendah dengan rentang  $f_0$  3,05 – 5,45 Hz yang terletak di daerah aliran sungai

serta pinggir jalan dan zona II bernilai tinggi dengan rentang  $f_0$  10,4 –13,25 Hz yang terletak di bukit dan bukit tepat diatas luweng atau rongga yang dialiri air. Sedangkan tinggi rendahnya nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dipengaruhi secara langsung oleh ketebalan sedimen atau lapisan lunak di titik pengukuran dimana pada zona I lapisan sedimen lebih tebal dengan nilai 10-12,5 m jika dikorelasikan antara persamaan  $f_0$  dengan penampang resistivitas 2D wilayah penelitian dibandingkan zona II dengan nilai ketebalan 3,7-4,8 m. Selain itu, berdasarkan analisis *particle motion*, sungai berperan sebagai sumber getaran (*source*) dan pada wilayah I yang merupakan daerah sekitar aliran sungai menunjukkan karakter pola orientasi arah pergerakan partikelnya Barat Laut-Tenggara (NW-SE) yang tegak lurus terhadap arah aliran sungai yang memiliki orientasi arah Timur-Barat (E-W). Sedangkan berdasarkan analisis *Time Frequency Analysis* (TFA), komponen vertikal (Z) menjadi komponen untuk melihat karakter kontinuitas amplitudo hasil TFA karena getaran yang dihasilkan aliran sungai menimbulkan amplitudo yang kontinu terhadap permukaan dengan nilai amplitudo 2.000 -10.000 dB pada rentang frekuensi 4-5 Hz (Paul Chemistra dkk., 2018).

Penelitian lain yang dijadikan referensi adalah penelitian yang dilakukan oleh Brahmantyo dkk., (2016). Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa pergerakan partikel akan terlihat stabil ketika nilai ketebalan sedimennya tebal dikarenakan teratenuasi oleh lapisan yang solid. Sebaliknya, pergerakan partikel akan menunjukkan arah sebarannya ketika nilai ketebalan sedimen semakin kecil (Brahmantyo dkk., 2016).



# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Lokasi Penelitian

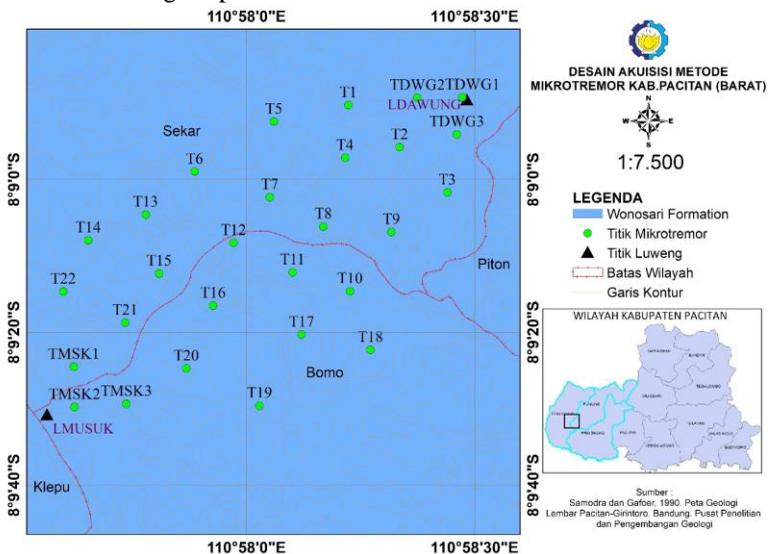
Penelitian dilaksanakan pada tanggal 4 sampai 7 Agustus 2019. Lokasi penelitian di Desa Sekar, Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan. Terdapat manifestasi lapangan berupa luweng (gua vertikal) yaitu Luweng Dawung dan Luweng Musuk.

## 3.2 Peralatan Penelitian

Pada penelitian ini digunakan beberapa peralatan antara lain yaitu GPS, Kompas Geologi, Satu set alat Mikrotremor MAE, dan Laptop. Selain peralatan diatas, dalam penelitian ini juga digunakan software yang menunjang penelitian antara lain Microsoft Word, Microsoft Excel, Google Earth, Geopsy, Easy HVSr, dan Surfer.

## 3.3 Desain Akuisisi

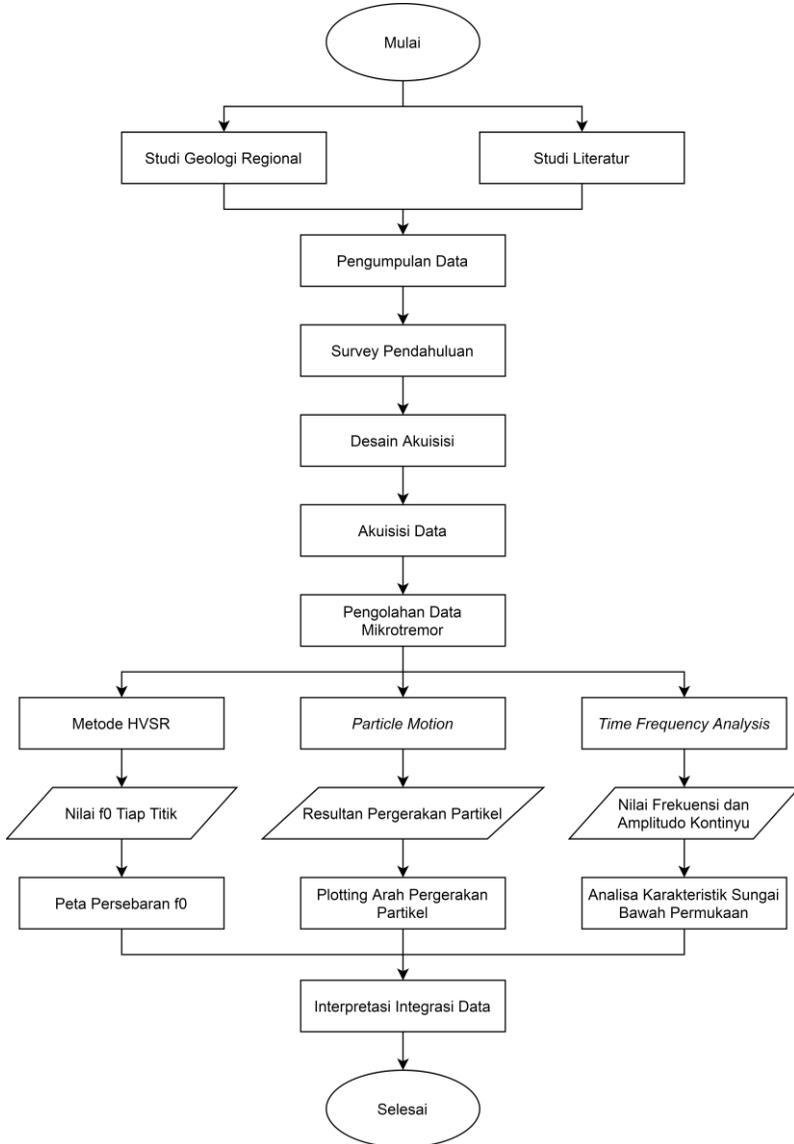
Lokasi penelitian di Desa Sekar, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Pacitan. Pada lokasi ini terdapat dua luweng yang diduga merupakan satu sistem sungai bawah permukaan yaitu luweng dawung dan luweng musuk. Total titik pengukuran sejumlah 28 titik dengan rincian 22 titik dengan spasi antar titik sebesar 250m dan pada titik yang berada pada kedua luweng masing-masing sejumlah 3 titik dengan spasi antar titik 100m.



Gambar 3.1 Peta desain akuisisi penelitian

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Berikut langkah-langkah dalam pengerjaan penelitian seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.2 dibawah ini :



**Gambar 3.2** Diagram alir penelitian

### 3.5 Prosedur Penelitian

Penjelasan diagram alir secara singkat sebagai berikut:

1. Dilakukan studi awal berupa studi geologi regional yang meliputi geologi Pacitan, stratigrafi regional Pacitan, dan geomorfologi karst daerah Pacitan serta dilakukan studi literatur yang meliputi paper atau jurnal mengenai hidrologi karst dan penelitian serupa yang telah dilakukan di daerah karst.
2. Dikumpulkan data berupa peta geologi Kabupaten Pacitan, tatanan stratigrafi regional Pacitan, klasifikasi karst daerah Pacitan serta hidrologinya, koordinat zona target yang akan diteliti, dan parameter-parameter nilai frekuensi yang akan dijadikan acuan penelitian.
3. Survey lapangan dilakukan yang bertujuan untuk memnandai luweng atau goa yang dihipotesa sebagai satu sistem yaitu luweng dawung dan luweng musuk.
4. Setelah diketahui koordinat luweng-luweng tersebut dan juga medan daerah tersebut, dibuat desain akuisisi untuk pengukuran metode Mikrotremor.
5. Dilakukan akuisi data mikrotremor yang dilakukan dari pagi hari hingga sore hari selama 4 hari.
6. Data yang telah diakuisisi kemudian diolah dengan metode HVSR, Kurva atau spektrum HVSR dapat diperoleh dari tiga komponen spektrum data mikrotremor. Kurva ini memberikan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan nilai faktor amplifikasi ( $A$ ).
7. Selanjutnya, diolah data hasil akuisisi menggunakan Geopsy untuk melihat *particle motion* serta melakukan pengolahan *Time Frequency Analysis* (TFA).
8. Dilakukan interpretasi yaitu karakteristik masing – masing pengolahan untuk menentukan karakter mikrotremor di wilayah penelitian.

### 3.6 Pengolahan Data

Pengolahan data pada tugas akhir kali ini terdiri dari tiga tahap pengolahan data yaitu: pengolahan data HVSR, pengolahan data *particle motion*, dan pengolahan data TFA (*Time Frequency Analysis*). Pengolahan pertama yaitu pengolahan data HVSR kemudian dilanjutkan pengolahan data *particle motion*, dan terakhir adalah pengolahan data TFA.

#### 3.6.1 Pengolahan Data HVSR

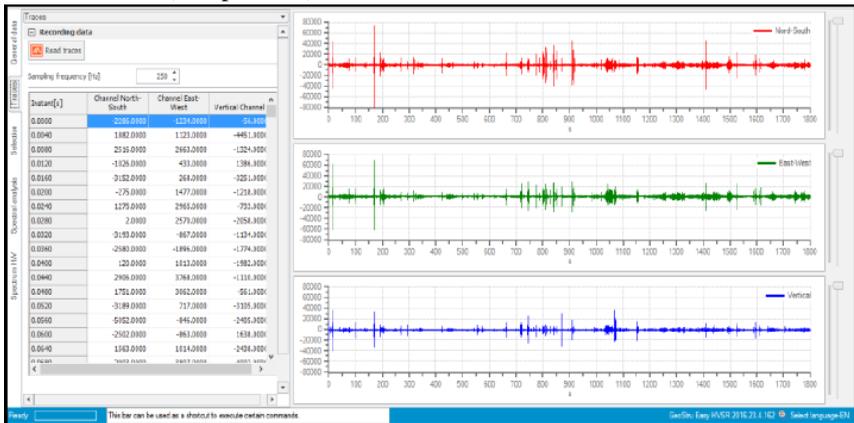
Pada pengolahan data HVSR dilakukan input data menggunakan Microsoft Excel 2016, kemudian dilakukan pengolahan menggunakan Easy HVSR, dan melakukan konturing nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) menggunakan Surfer 13.

### 3.6.1.1 Input Data Awal

Pada tahap pengolahan data mikrotremor, langkah paling awal yang dilakukan adalah memasukkan data atau input data lokasi titik. Data lokasi ini berupa koordinat dalam satuan UTM (*Universal Tranverse Mercator*) yang terdiri atas komponen *Easting* dan *Northing*. Data ini didapatkan dengan melakukan plotting koordinat menggunakan GPS pada titik pengukuran kemudian koordinat tersebut dicatat menggunakan Microsoft Excel 2016. Selain itu, karena akuisisi data menggunakan *seismograph* MAE maka data mentah yang memiliki format .BIN harus dikonversi terlebih menjadi format .sg2 menggunakan SEG2-conv agar data tersebut dapat diimpor ke dalam *software* pengolahan. Tampilan input data awal terdiri dari: nama titik, koordinat, dan format data.

### 3.6.1.2 Input Raw Data pada Easy HVSr

Data pengukuran yang telah diubah formatnya menjadi .sg2 kemudian diimpor ke dalam *software* pengolahan. *Software* pengolahan yang digunakan adalah Easy HVSr yang merupakan perangkat lunak dari Italia. Pada Easy HVSr, input raw data disebut sebagai read traces dimana dibaca trace pada 3 komponen yaitu komponen Vertikal (komponen 1), North-South (komponen 2), dan East-West (komponen 3).

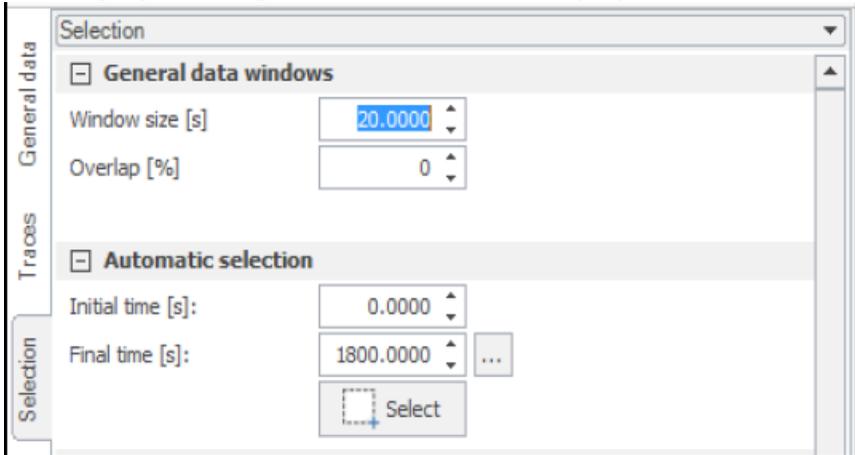


Gambar 3.3 Input raw data pada Easy HVSr

### 3.6.1.3 Window Selection

Tahap ini menentukan *window size* yang berguna untuk membagi gelombang tiap-tiap komponen menjadi jendela per waktu yang ditentukan seperti pada gambar 3.6. Pada tahap *window size* atau ukuran jendela per waktunya dibagi menjadi per 20 detik. Hal ini berguna saat melakukan

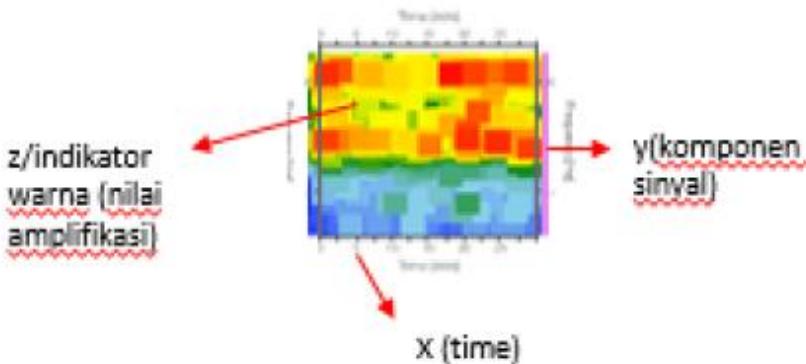
penghilangan *noise* dimana ketika menghilangkan jendela yang dianggap maka waktu yang dipotong adalah 20 detik per jendela. Selain itu waktu mulai (*initial time*) dimulai dari angka 0 s dan waktu akhir (*final time*) berada pada angka 1800 s karena pengukuran tiap titik dilakukan selama setengah jam.



Gambar 3.4 Selection Window

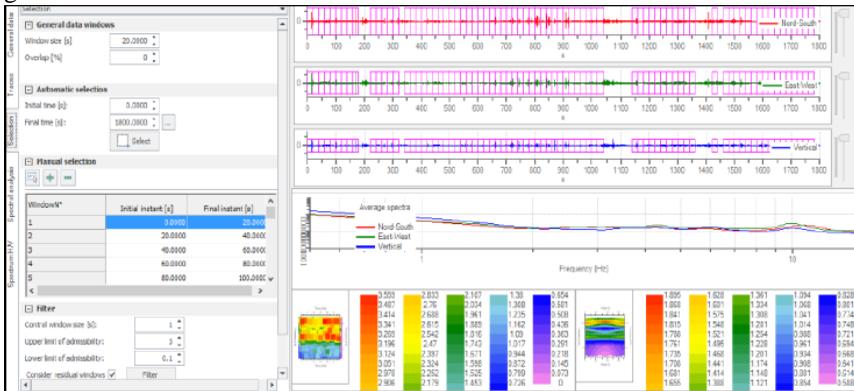
### 3.6.1.4 Menghilangkan Noise

*Noise* pada metode mikrotremor merupakan gelombang yang tiba-tiba memiliki nilai besar dan hanya terjadi di momen tertentu saja pada data pengukuran mikrotremor. *Noise* ini secara langsung memengaruhi nilai frekuensi puncak sehingga perlu direduksi agar kurva frekuensi yang terbentuk menunjukkan frekuensi dominan pada titik pengukuran tersebut.



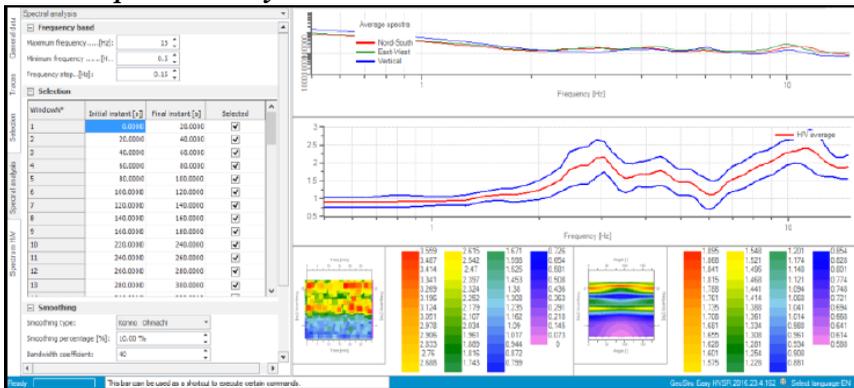
Gambar 3.5 Frequency domain window

Berdasarkan gambar 3.5, *noise* dapat diidentifikasi dengan cara melihat kotak berwarna merah yang hanya berada pada satu waktu tertentu saja. *Noise* tersebut dapat dihilangkan dengan cara mengklik cursor pada kotak merah tersebut dan secara otomatis akan menunjukkan *noise* tersebut berada pada jendela waktu berapa pada komponen gelombang. Kemudian dipilih *removing window* agar jendela waktu tersebut hilang. Hal ini dilakukan sampai kotak pada gambar 3.5, memiliki kontras warna yang stabil di sepanjang momen waktu pengukuran yang artinya pada data tersebut sudah memiliki nilai frekuensi yang dominan pada sepanjang momen waktu pengukuran. Setiap *window* yang sudah terhapus dapat dilihat pada *manual selection window* yang ditunjukkan oleh gambar 3.6



Gambar 3.6 Manual selection window

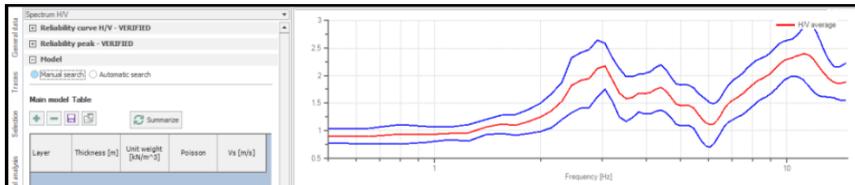
### 3.6.1.5 Spectral Analysis



Gambar 3.7 Spectral Analysis Window

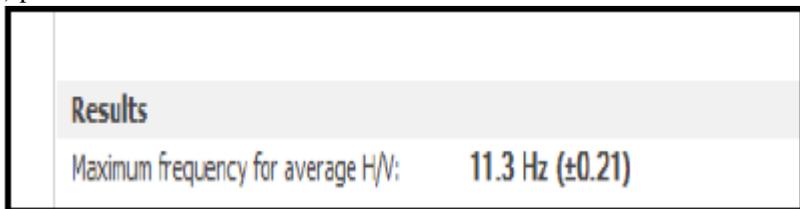
*Spectral analysis* berfungsi untuk menentukan rentang frekuensi minimal dan frekuensi maksimal, untuk menentukan rentang nilai frekuensi yang muncul pada sumbu x di kurva. Nilai standar yang diterapkan adalah 0,5 – 15 Hz. Penentuan nilai ini sangat berpengaruh terhadap hasil kurva yang ditampilkan yang jg berpengaruh langsung terhadap penentuan nilai *peak frequency* dimana indikator kurva yang tepat adalah kurva terdapat titik puncak yang kemudian turun lagi. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat frekuensi yang dominan pada titik tersebut dengan nilai frekuensi puncak yang merupakan titik puncak dari kurva.

### 3.6.1.6 Analisis Kurva HVSR



**Gambar 3.8** H/V window

Setelah melakukan pengolahan menghilangkan *noise* dan menentukan rentang nilai frekuensi, dilakukan analisis kurva HVSR pada sub-menu *Spectrum H/V*. Pada sub-menu ini dapat ditentukan apakah nilai frekuensi dominan sudah benar atau belum dengan melihat indikator *Reliability Curve H/V* dan *Reliability Peak* sudah menunjukkan *verified* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.8. Jika belum maka dilakukan kembali proses *filtering noise* ataupun penentuan rentang nilai frekuensi agar kurva yang dibentuk ataupun nilai frekuensi dominannya benar. Jika sudah benar yang diindikasikan dengan dua indikator tadi *verified*, maka dapat terlihat pada gambar 3.9 nilai frekuensi maksimum untuk rata-rata nilai nilai frekuensi atau dengan kata lain nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) di titik tersebut. Nilai inilah yang kemudian mewakili frekuensi dominan ( $f_0$ ) pada titik tersebut.



**Gambar 3.9** Nilai Frekuensi Dominan yang didapat

### 3.6.2 Pengolahan *Particle Motion*

#### 3.6.2.1 *Input Data Awal*

Langkah paling awal yang dilakukan dalam pengolahan data *particle motion* adalah membuat database pada aplikasi Geopsy agar memudahkan proses pengolahan dan tidak membingungkan mengurutkan atau menentukan titik pengolahan. Memudahkan proses pengolahan berarti bahwa data titik – titik hasil akuisisi yang telah dilakukan dibuat dalam satu *database* atau pusat data seperti gambar 3.13 sehingga saat melakukan tahap selanjutnya tidak perlu melakukan mengulang ke tahap *input data* sinyal setiap titik.

Pembuatan *database* ini termasuk ke dalam tahap *input data* awal karena pada awalnya dibuat *database* terlebih dahulu, kemudian dimasukkan data – data hasil akuisisi yang berjumlah total 12 titik ke dalam *database* tersebut. Data yang dimasukkan ke dalam *database* ini harus berformat .sg2 sama seperti pengolahan data HVSr.

Data – data hasil akuisi menghasilkan 3 sinyal yang memiliki komponen E (komponen Timur-Barat), N (komponen Utara-Selatan), dan Z (komponen Vertikal). Jadi pada tahap kalibrasi ini, data yang akan diolah harus diubah terlebih dahulu ketiga komponen sinyalnya menjadi komponen E, N, dan Z dengan urutan no.1 merupakan komponen Z, no.2 merupakan komponen N, dan no.3 adalah komponen E. Tahap kalibrasi ini sangat penting dilakukan karena jika tidak dikalibrasi maka saat dilakukan tahap analisa pergerakan partikel akan terjadi *error* karena Geopsy tidak bisa membaca data tersebut

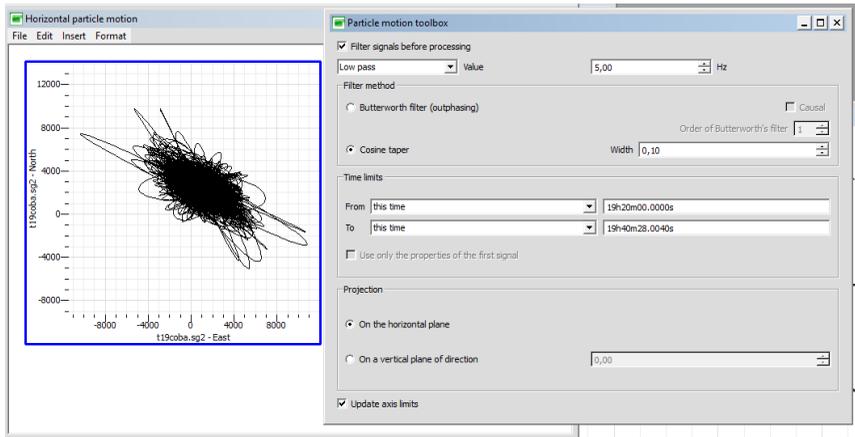


ID	Name	Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N sampl
1	t19coba.sg2	Vertical	04/08/2019 00:00:00	19h18m28.000000s	19h48m28.004000s	250	0,004	450001
2	t19coba.sg2	North	04/08/2019 00:00:00	19h18m28.000000s	19h48m28.004000s	250	0,004	450001
3	t19coba.sg2	East	04/08/2019 00:00:00	19h18m28.000000s	19h48m28.004000s	250	0,004	450001

**Gambar 3.10** Tampilan pengaturan komponen pada Geopsy

#### 3.6.2.2 *Analisa pergerakan partikel (particle motion)*





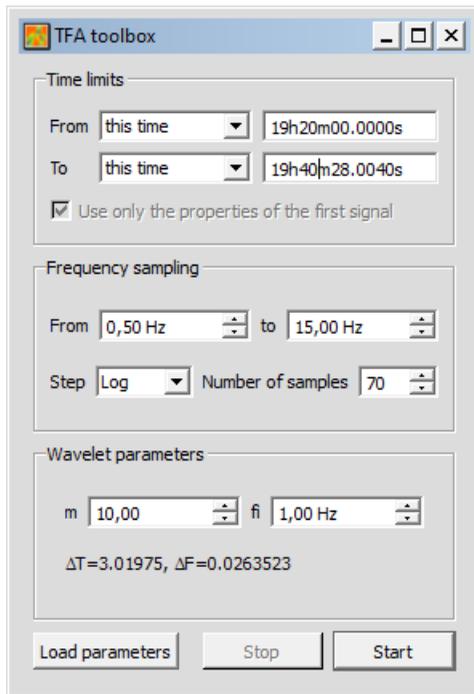
**Gambar 3.11** *Particle motion toolbox*

Geopsy akan melakukan *processing* data tersebut untuk menghasilkan *horizontal particle motion*. Pada gambar 3.11, terlihat *particle motion* berbentuk garis – garis tidak beraturan yang merupakan getaran yang terjadi pada titik tersebut dan pasti memiliki resultan arah getaran yang dominan. Parameter pertama adalah rentang waktu (*time limits*) data yang digunakan pada pengolahan TFA. Rentang waktu yang diambil dapat dilihat pada saat pengolahan HVSAR dimana rentang waktu yang tidak banyak mengalami pemotongan / *removed window*. Selain itu, pada *particle motion toolbox* juga diisi nilai *low pass filter* 4,00 Hz karena semakin besar nilainya maka resultannya tidak terlihat justru cenderung menjadi garis hitam tebal saja akibat frekuensi tinggi termasuk ke dalam Analisa sedangkan yang dianalisa merupakan frekuensi rendahnya. Berdasarkan analisa pergerakan partikel inilah kemudian ditentukan dominan sumber frekuensi berasal dari arah mana.

### 3.6.3 Pengolahan *Time Frequency Analysis*

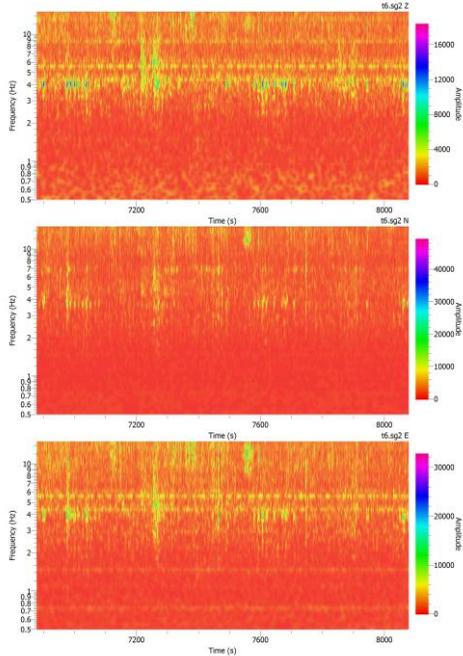
#### 3.6.3.1 *Analisis Amplitudo pada TFA*

Setelah dipilih submenu *time frequency analysis* pada geopsy, maka selanjutnya akan muncul *TFA toolbox* dimana terdapat beberapa parameter data yang harus ditentukan sebelum pengolahan data dimulai. Parameter pertama adalah rentang waktu (*time limits*) data yang digunakan pada pengolahan TFA. Rentang waktu yang diambil disesuaikan dengan rentang waktu pada pengolahan *particle motion*, itulah yang ditentukan sebagai rentang waktu pengolahan TFA.



**Gambar 3.12** TFA *Toolbox*

Berdasarkan gambar 3.12 terlihat bahwa pada rentang waktu 20-40 menit dari total waktu pengukuran 30 menit, memiliki frekuensi dan amplifikasi yang tidak terpotong *window*nya sehingga memiliki rentang waktu dimana nilai frekuensi dan amplifikasinya muncul selama 20 menit. Sedangkan pada parameter *frequency sampling*, nilai rentang frekuensi yang digunakan adalah nilai rentang frekuensi yang digunakan saat pengolahan HVSR. Hal ini dikarenakan pada pengolahan HVSR penentuan nilai rentang frekuensi berpengaruh secara langsung terhadap nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) data itu sendiri sehingga perlu disamakan antara nilai rentang frekuensi pengolahan HVSR dengan nilai rentang frekuensi pengolahan *Time Frequency Analysis* (TFA). Untuk parameter lain seperti *wavelet parameters* ataupun *number of samples*, digunakan nilai *default* pada Geopsy itu sendiri. Jika parameter sudah terisi maka selanjutnya diklik pilihan *start* pada TFA *toolbox*.



**Gambar 3.13** Hasil *Time Frequency Analysis* pada satu data

Setelah dijalankan proses pengolahan *Time Frequency Analysis* pada *TFA toolbox*, maka akan menghasilkan *display* seperti pada gambar 3.20 dimana terdapat 3 *display* yang merupakan hasil *Time Frequency Analysis* tiga komponen yaitu komponen Timur-Barat (E), komponen Utara-Selatan (N), dan komponen vertikal (Z). Pada tiap *display* terdapat komponen x, y dan z dimana komponen x merupakan waktu (s) kemudian komponen y merupakan frekuensi (Hz), dan komponen z yang merupakan indikator warna adalah amplitudo dimana warna kuning merupakan amplitudo rendah dan semakin menuju warna ungu, amplitudo yang dihasilkan semakin besar. Pada pengolahan TFA ini ketiga komponen dianalisis untuk mengetahui pengaruh sungai sebagai sumber getaran terhadap komponen vertikal dan horizontal dari data pengukuran.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengolahan Metode HVSR

Pengolahan data dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) menghasilkan data berupa nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) yang nantinya menjadi sumber analisis ketebalan sedimen dengan didukung data vs30. Hasil pengukuran mikrotremor yang telah diolah menggunakan menggunakan *software Easy HVSR* akan menghasilkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) pada tiap titik pengukuran. Berikut merupakan tabel nilai frekuensi dominan yang didapatkan pada tiap titik.

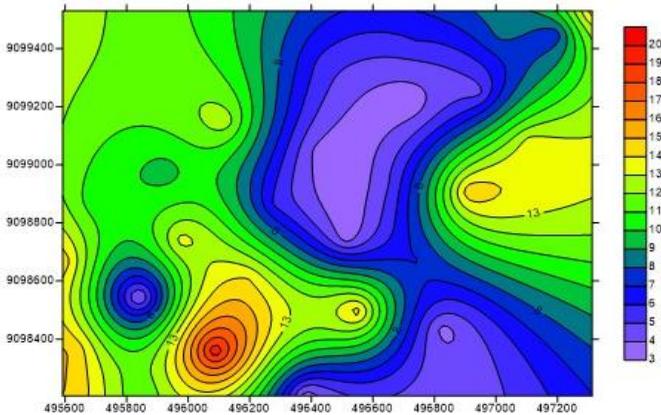
**Tabel 4.1** Nilai Frekuensi Dominan ( $f_0$ ) Pada Tiap Titik

NAMA TITIK	Frekuensi Dominan	Koordinat	
		easting	Norting
TDWG3	7.4	497196.06 m E	9099449.33 m S
TDWG1	14.6	497312.60 m E	9099529.93 m S
TDWG2	8.3	497015.72 m E	9099447.52 m S
t1	5.9	496738.73 m E	9099418.00 m S
t2	4.7	496944.12 m E	9099249.21 m S
T3	13.4	497108.90 m E	9099083.08 m S
t4	3.35	496725.20 m E	9099206.07 m S
t5	5.6	496439.09 m E	9099351.68 m S
t6	12.65	496120.23 m E	9099150.69 m S
t7	3.65	496422.39 m E	9099048.03 m S
t8	4.7	496637.78 m E	9098929.81 m S
t9	11.8	496911.34 m E	9098908.10 m S
t10	6.95	496745.41 m E	9098669.96 m S
t11	3.5	496514.13 m E	9098745.93 m S
t12	5.9	496277.02 m E	9098864.37 m S
t13	9.5	495923.35 m E	9098977.98 m S
T14	10.4	495692.03 m E	9098875.20 m S
T15	13.4	495977.66 m E	9098741.14 m S
t16	14	496194.12 m E	9098611.93 m S
t17	14.5	496550.68 m E	9098495.97 m S

t18	3.65	496827.18 m E	9098434.36 m S
t19	3.5	496380.90 m E	9098209.98 m S
t20	19.35	496087.01 m E	9098359.44 m S
t21	3.65	495840.79 m E	9098543.56 m S
t22	14.75	495592.00 m E	9098668.56 m S
tmsk1	14.75	495634.59 m E	9098366.38 m S
tmsk3	14.7	495637.46 m E	9098204.76 m S
tmsk2	11.2	495846.05 m E	9098217.16 m S

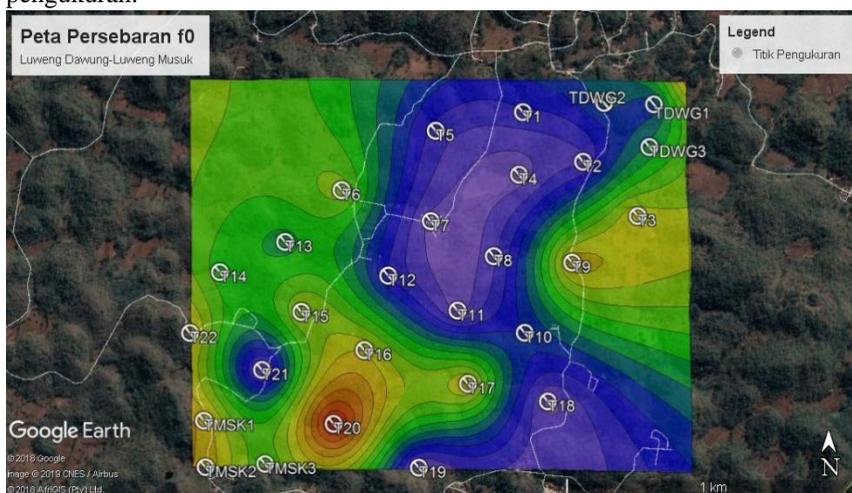
Semua nilai frekuensi dominan pada hasil penelitian ini telah sesuai dengan referensi klasifikasi nilai dominan yang telah didefinisikan oleh (Kanai dkk., 1954). Data frekuensi dominan ( $f_0$ ) yang telah didapatkan dari hasil pengolahan kemudian direkapitulasi ke dalam Microsoft Excel 2016 seperti tabel 4.1 untuk dilihat tabel nilai frekuensi dari tiap titik dimana terdapat nama titik, koordinat, dan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ). Berdasarkan hasil pengukuran terdapat nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) yang rendah dengan rentang nilai ( $<10$  Hz) yang berada pada titik TDWG2, TDWG3, T1, T2, T4, T5, T7, T8, T10, T11, T12, T13, T18, T19, dan T21. Sedangkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) yang tinggi dengan rentang ( $>10$  Hz) berada pada titik TDWG1, T3, T6, T9, T14, T15, T16, T17, T20, T22, TMSK1, TMSK2, dan TMSK3.

Hasil pengolahan data frekuensi dominan tersebut kemudian dipetakan menggunakan surfer untuk menghasilkan peta persebaran frekuensi dominan yang menunjukkan ketebalan sedimen di lokasi pengukuran. Berikut ini merupakan hasil pemetaan frekuensi dominan yang telah diolah dengan surfer.



**Gambar 4.1** Peta Persebaran Frekuensi Dominan

Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dengan rentang dan karakteristik yang berbeda. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh ketebalan sedimen serta kondisi lingkungan tiap titik pengukuran pada daerah penelitian. Daerah penelitian ini didominasi perbukitan dan dolina yang merupakan salah satu ciri khas dari daerah karst. Oleh karena itu, jika dilihat pada table 4.1 menunjukkan bahwa nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) terbagi dalam dua rentang nilai yaitu nilai frekuensi dominan yang relatif rendah ( $<10$  Hz) dan nilai frekuensi dominan yang relative tinggi ( $>10$  Hz). Kemudian data dapat dianalisis dengan melakukan overlay peta kontur nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) tiap titik dengan peta akuisisi yang berada pada Google Earth sehingga dapat diketahui persebaran nilai frekuensi dominan( $f_0$ ) berdasarkan kondisi lapangan atau lokasi pengukuran.



**Gambar 4.2** Overlay peta kontur  $f_0$  pada lokasi penelitian

Gambar diatas menunjukkan bahwa penampang peta persebaran frekuensi dominan memiliki kemiripan pola dengan kondisi geologi daerah pengukuran namun dengan karakteristik yang berbeda. Hal ini disebabkan karena nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) berkaitan dengan kondisi geologi lokasi pengukuran dimana ketebalan sedimen pada daerah pengukuran secara langsung memengaruhi nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) tiap titik. Pada daerah dengan ketebalan sedimen yang cukup tebal, maka nilai frekuensi dominan yang dihasilkan cenderung rendah, dan sebaliknya pada daerah dengan ketebalan sedimen yang tipis, maka nilai frekuensi dominan yang dihasilkan relatif tinggi. Hal ini dapat dilihat dengan jelas pada gambar 4.2, dimana daerah dolina ditampilkan dengan warna biru-ungu yang menandakan nilai frekuensi dominan

yang relatif rendah. Hal ini menandakan bahwa pada daerah dolina memiliki ketebalan sedimen yang cukup tebal. Pada area kuning hingga kemerahan yang menunjukkan nilai frekuensi dominan yang relatif tinggi terdapat pada daerah perbukitan dengan nilai tertinggi di puncak-puncak bukitnya, hal ini disebabkan bukit-bukit tersebut merupakan bukit karst yang memiliki batuan keras, sehingga nilai ketebalan sedimen nya tipis. Selain itu, pada tiap 3 titik pengukuran yang dilakukan di sekitar masing-masing luweng, menunjukkan nilai frekuensi dominan cenderung tinggi yang mengindikasikan getaran yang ditimbulkan dari sungai bawah permukaan di sekitar luweng memengaruhi nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ).

## 4.2 Analisa Hasil Data Pergerakan Partikel (*Particle Motion*)

Pengolahan data *particle motion* dilakukan untuk mengidentifikasi resultan arah atau *trend* arah getaran pada tiap titik pengukuran yang diindikasikan *source* nya merupakan aliran sungai bawah permukaan. Hal ini sesuai dengan hipotesis awal bahwa aliran sungai merupakan sumber getar kontinu sehingga *trend particle motion* dapat digunakan untuk memperkirakan arah aliran sungai bawah permukaan. Hal ini disebabkan oleh aliran sungai bawah permukaan yang menjadi sumber getar tersebut menyebabkan pergerakan partikel menjauhi titik tersebut, sehingga *trend particle motion* akan memiliki arah yang tegak lurus dengan aliran sungai bawah permukaan di titik tersebut (Bahri, 2018).

Pada pengolahan data *particle motion* ini dibagi menjadi dua pembahasan, yaitu pada titik yang berada di sekitar luweng, dan pada daerah antar luweng. Pada titik yang berada di sekitar luweng diambil sebagai acuan untuk masing-masing kondisi yang dialiri sungai bawah permukaan di bawah titik pengukurannya.

### 4.2.1 Analisa Data *Particle Motion* Pada Titik di Sekitar Luweng

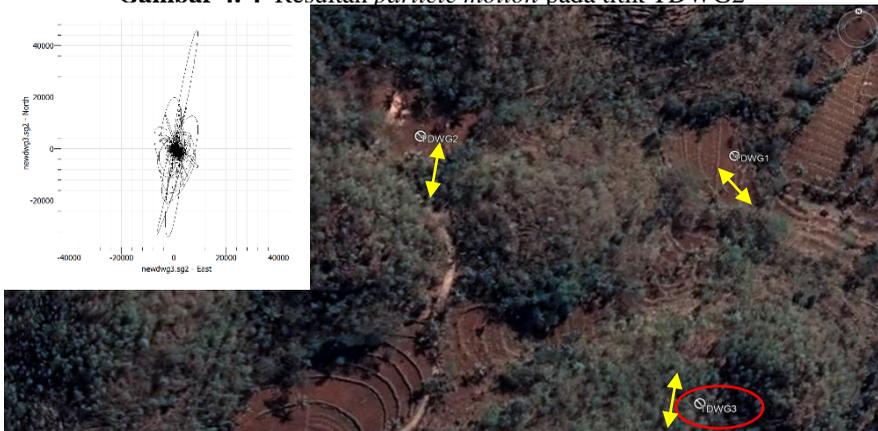


**Gambar 4. 3** Resultan *particle motion* pada titik TDWG1





**Gambar 4. 4** Resultan *particle motion* pada titik TDWG2



**Gambar 4. 5** Resultan *particle motion* pada titik TDWG3

Pengolahan data *particle motion* dilakukan untuk melihat resultan arah atau trend arah getaran di tiap titik data pengukuran, maka dihasilkan karakter pergerakan partikel yang menunjukkan pola tertentu. Gambar 4.3, 4.4, 4.5 menunjukkan resultan *particle motion* pada titik pengukuran di sekitar luweng dawung. Pada gambar 4.3 yang merupakan titik TDWG1, resultan *particle motion* menunjukkan arah Barat Laut-Tenggara (NW-SE), pada gambar 4.4 yang merupakan titik TDWG2 memiliki resultan arah getaran Timur Laut-Barat Daya (NE-SW), dan pada gambar 4.5 yang merupakan titik TDWG3 memiliki resultan arah Timur Laut-Barat Daya (NE-SW).



**Gambar 4. 6** Resultan *particle motion* pada titik TMSK1



**Gambar 4. 7** Resultan *particle motion* pada titik TMSK2

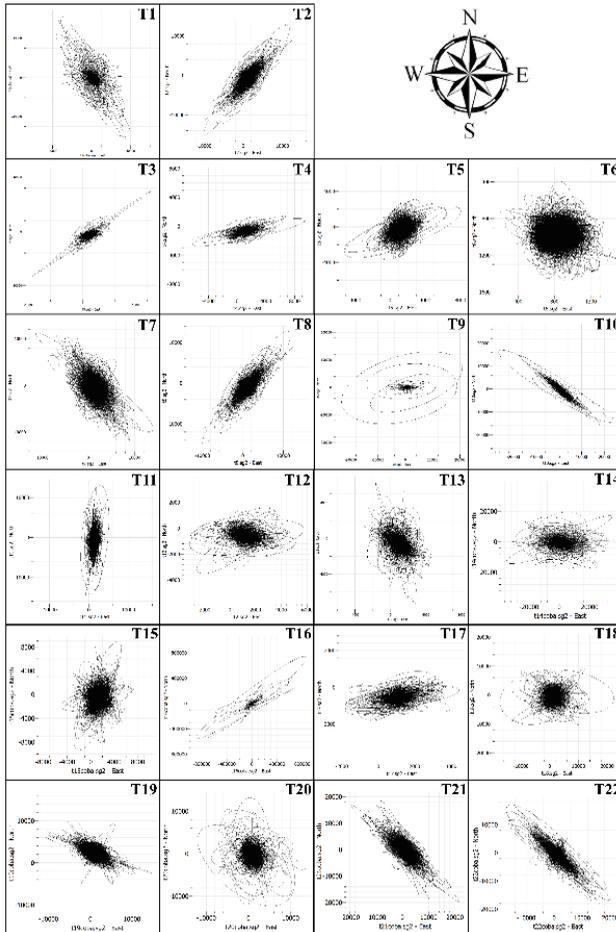


**Gambar 4. 8** Resultan *particle motion* pada titik TMSK3

Gambar 4.6, 4.7, 4.8 merupakan resultan *particle motion* pada 3 titik pengukuran yang berada di sekitar luweng masuk. Pada gambar 4.6 yang merupakan titik pengukuran TMSK1 memiliki resultan arah Timur Laut-Barat Daya (NE-SW), pada gambar 4.7 yang merupakan titik pengukuran TMSK2 memiliki resultan arah Timur Laut-Barat Daya (NE-SW), dan pada gambar 4.8 yang merupakan titik pengukuran TMSK3 memiliki resultan arah Timur Laut-Barat Daya (NE-SW).

#### 4.2.2 Analisa Data *Particle Motion* Pada Daerah Antar Luweng

Selain 3 titik yang terletak di masing-masing luweng diatas, pengolahan *Prtilce motion* juga dilakukan di daerah antar luweng dengan jumlah 22 titik untuk memperkirakan aliran sungai bawah permukaan dari Luwen Dawung hingga Luweng Musuk merupakan satu sistem sungai bawah permukaan. Berikut merupakan hasil pengolahan *particle motion* di 22 titik tersebut.



**Gambar 4. 9** Resultan *Particle Motion* pada 22 titik pengukuran di daerah antar luweng

Jika dilihat pada gambar 4.9 diatas, hasil resultan *particle motion* menunjukkan adanya respon arah pergerakan partikel yang berbeda-beda untuk setiap titik. Hal ini diduga karena adanya pengaruh sungai bawah permukaan yang ada di daerah penelitian. Sedangkan untuk titik pengukuran yang mempunyai tren *particle motion* yang terpusat seperti pada titik T6, T18, dan T20 memiliki dua kemungkinan yaitu titik tersebut berada tepat diatas aliran sungai bawah permukaan atau titik tersebut sama sekali tidak dilewati maupun berdekatan dengan aliran sungai bawah permukaan sehingga tidak terpengaruh oleh pergerakan partikel yang disebabkan oleh sungai bawah permukaan dan

respon resultan *particle motion* yang terekam murni dari gerak endogen bawah permukaan tanah pada titik pengukuran tersebut sehingga respon resultan pergerakan partikelnya terpusat. Pada metode *particle motion* dapat diperkirakan arah aliran sungai bawah permukaan berdasarkan gabungan arah resultan *particle motion* pada masing-masing lokasi. Berikut ini adalah hasil *plotting* arah resultan masing-masing titik dan perkiraan arah aliran sungai bawah permukaan pada lokasi penelitian.



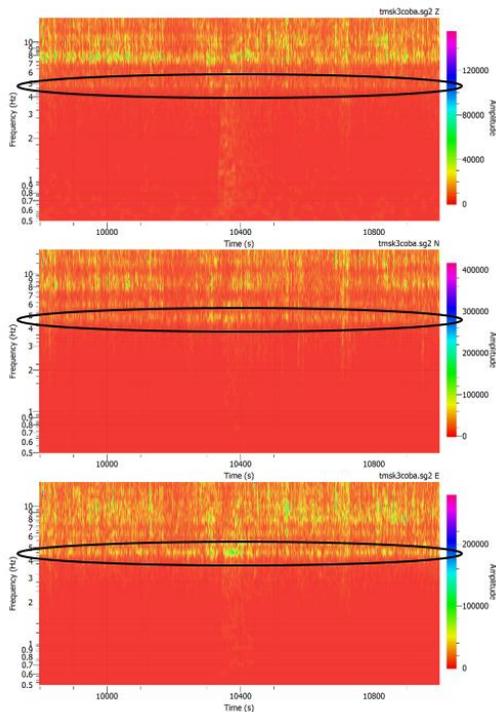
**Gambar 4. 10** Peta Korelasi resultan *Particle Motion*

Gambar 4.10 merupakan hasil rekapitulasi resultan *particle motion* dari keseluruhan titik pada lokasi penelitian untuk menentukan arah aliran sungai bawah permukaan pada Luweng Dawung dan Luweng Musuk yang diduga sebagai satu sistem sungai bawah permukaan. Berdasarkan peta penelitian pada gambar 4.10 arah aliran sungai dari Luweng Dawung ke Luweng Musuk berarah Timur Laut-Barat Daya (NE-SW), arah aliran ini diperkirakan sebagai akibat dari adanya sesar mendatar Sesar Grindulu. Selain itu, pola resultan arah *particle motion* pada penelitian ini relatif hanya memiliki 2 pola arah aliran yang berbeda, yaitu Timur Laut-Barat Daya (NE-SW) yang sejajar dengan arah sungai bawah permukaan, dan Barat Laut-Tenggara (NW-SE) yang tegak lurus terhadap aliran sungai dimana aliran sungai berarah Timur Laut-Barat Daya (NE-SW). Hal ini dapat diindikasikan bahwa sungai berperan sebagai sumber (*source*) terhadap titik pengukuran.

### 4.3 Analisa Hasil Data *Time Frequency Analysis* (TFA)

Proses *time frequency analysis* (TFA) dilakukan dengan *software* geopsy dengan melakukan analisa pada ketiga sinyal mikrotremor pada masing-masing titik pada range frekuensi sesuai dengan hasil pengolahan HVSR terhadap waktu. Berikut adalah hasil TFA pada beberapa titik yang mewakili lokasi penelitian. Pada pengolahan *Time Frequency Analysis* (TFA) ini dilakukan analisa amplitudo terhadap 3 komponen pada masing-masing titik-titik pengukuran mikrotremor untuk melihat kontinuitas dari amplitudo pada rentang frekuensi tertentu. Seperti yang diketahui bahwa aliran sungai menghasilkan getaran yang terus menerus atau kontinu sehingga mengakibatkan amplitudo yang kontinu atau penguatan gelombang yang tetap pada daerah sekitarnya. Oleh karena itu, pada titik-titik pengukuran di sekitar sungai seharusnya memiliki nilai amplitudo yang tetap sepanjang kompoonen x (rentang waktu) dan juga sepanjang komponen y (rentang frekuensi) dimana sungai diketahui memiliki rentang frekuensi 4-14 Hz (Bahri, 2018).

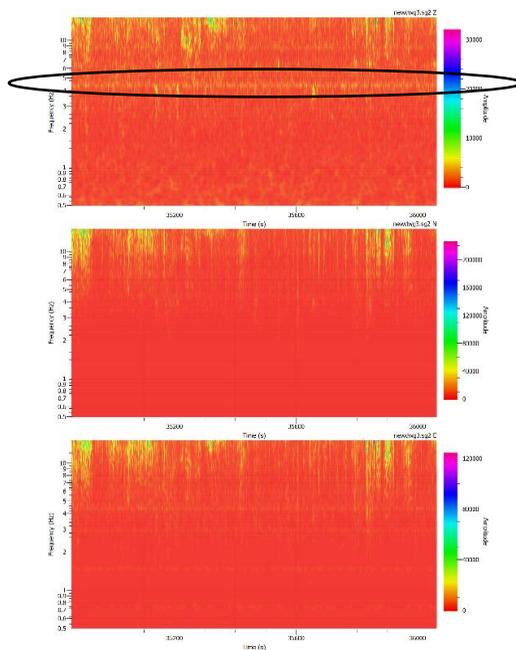
#### 4.3.1 Analisa Data *Time Frequency Analysis* Pada Titik di Sekitar Luweng



**Gambar 4. 11** Hasil TFA pada titik TMSK3

Pada pengolahan *Time Frequency Analysis* (TFA) ini dilakukan analisa amplitudo terhadap 3 komponen pada masing-masing titik-titik pengukuran mikrotremer untuk melihat kontinuitas dari amplitudo pada rentang frekuensi tertentu. Seperti yang diketahui bahwa aliran sungai menghasilkan getaran yang terus menerus atau kontinu sehingga mengakibatkan amplitudo yang kontinu atau penguatan gelombang yang tetap pada daerah sekitarnya. Oleh karena itu, pada titik-titik pengukuran di sekitar sungai seharusnya memiliki nilai amplitudo yang tetap sepanjang kompoonen x (rentang waktu) dan juga sepanjang komponen y (rentang frekuensi) dimana sungai diketahui memiliki rentang frekuensi 4-14 Hz (Bahri, 2018).

Hasil yang ditampilkan pada gambar 4. merupakan hasil pengolahan TFA pada titik pengukuran TMSK3 yang terletak di daerah sekitar Luweng Musuk. Hasil pengolahan TFA pada TMSK3 menunjukkan adanya nilai amplitudo kontinyu pada rentang frekuensi 4-5 Hz. Nilai ini kemudian menjadi validasi terdapatnya sungai bawah permukaan pada lokasi tersebut karena sesuai dengan karakteristik yang telah didefinisikan sebelumnya melalui penelitian (Bahri, 2018). Analisa yang sama juga diberlakukan pada titik TDWG yang mewakili lokasi penelitian di sekitar Luweng Dawung.

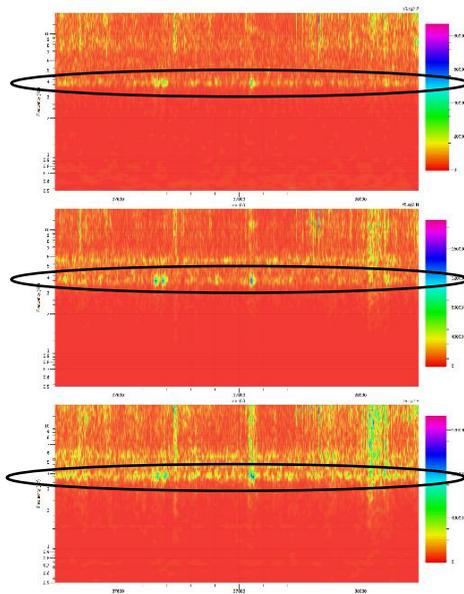


**Gambar 4. 12** Hasil TFA pada titik TDWG3

Pada titik pengukuran TDWG3 yang terletak di daerah sekitar Luweng Dawung. Hasil pengolahan TFA pada TDWG3 menunjukkan adanya nilai amplitudo kontinu pada rentang frekuensi 4-5 Hz pada komponen Z. Hal ini mengindikasikan bahwa aliran sungai mempengaruhi kontinuitas amplitudo komponen Z karena pada hasil TFA titik TDWG3 sehingga dapat diinterpretasikan bahwa daerah bukit yang dialiri sungai di bawahnya menunjukkan kontinuitas amplitudo pada komponen vertikal dari hasil TFA. Nilai ini kemudian menjadi validasi terdapatnya sungai bawah permukaan pada lokasi tersebut karena sesuai dengan karakteristik yang telah didefinisikan sebelumnya melalui penelitian (Bahri, 2018).

#### 4.3.2 Analisa Data *Time Frequency Analysis* Pada Daerah Antar Luweng

Pada pengolahan *Time Frequency Analysis* (TFA) di daerah antar luweng diambil 3 titik untuk dianalisis hasil TFA pada ketiga titik tersebut. Titik yang diambil di daerah ini adalah titik T5, T12, dan T17 karena berdasarkan lokasi pengukuran mikrotremor, ketiga titik tersebut terletak di bagian atas, tengah, dan bawah pada daerah antar luweng. Berikut merupakan hasil penampang *time frequency analysis* pada ketiga titik tersebut.

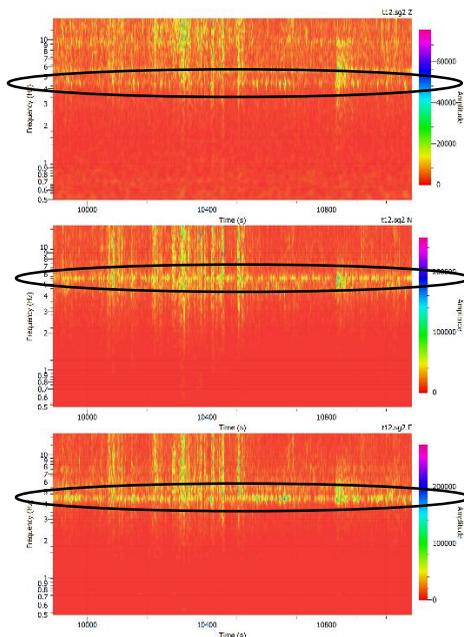


**Gambar 4. 13** Hasil TFA pada titik T5

Pada gambar 4.13 yang merupakan hasil pengolahan *Time Frequency Analysis* pada titik T5 menunjukkan adanya hasil nilai amplitudo kontinu yang

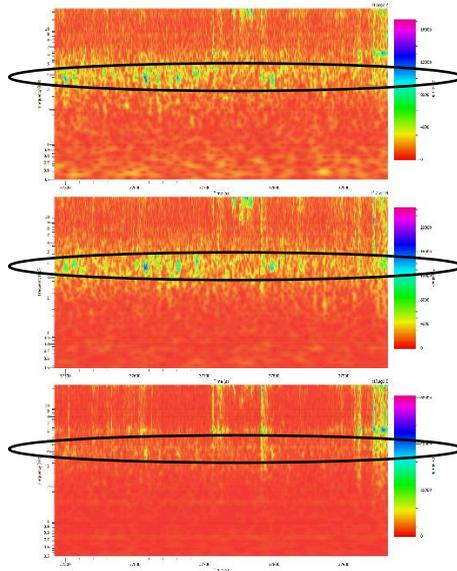


cukup besar pada rentang frekuensi 4-5 Hz berada pada kisaran 20000-50000 dB. Nilai amplitudo ini terjadi karena pada titik tersebut merupakan daerah ladang yang memiliki lapisan tanah lebih tebal bila dibandingkan daerah perbukitan. Hal ini menyebabkan terjadinya perubahan medium rambat gelombang dari lapisan batuan keras ke lapisan yang lebih lunak sehingga berlaku salah satu sifat gelombang yang akan mengalami perbesaran amplitudo saat berpindah dari medium yang rapat menuju medium yang kurang rapat. Analisa yang sama juga diberlakukan pada titik T12 yang mewakili daerah ladang.



**Gambar 4. 14** Hasil TFA pada titik T12

Berdasarkan hasil pengolahan TFA pada titik T12 menunjukkan adanya hasil amplitudo kontinu pada rentang frekuensi 5-6 Hz berada pada kisaran 10.000-20.000 dB. Adanya nilai amplitudo yang kontinu berdasarkan hasil TFA pada titik T12 ini dapat diinterpretasikan terjadi karena adanya pengaruh aliran sungai di bawahnya. Analisa yang sama juga diberlakukan pada titik T17 yang mewakili daerah perbukitan.



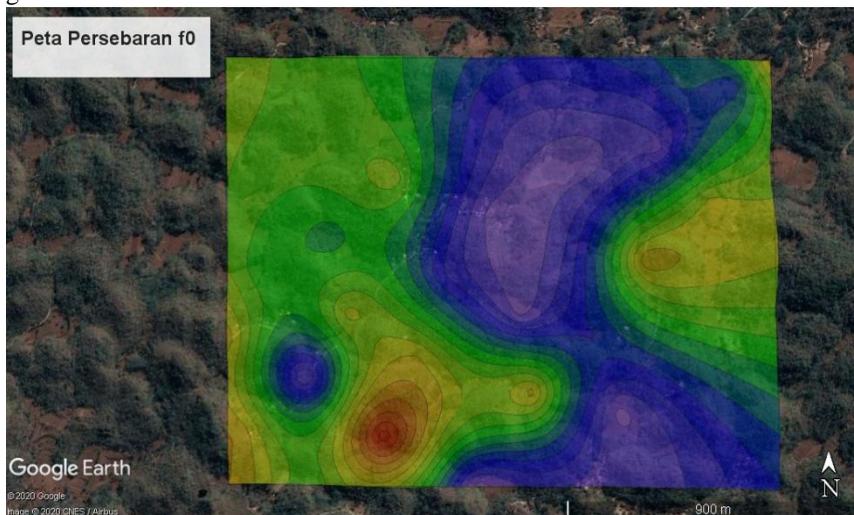
**Gambar 4. 15** Hasil TFA pada titik T17

Pada gambar 4.15 yang merupakan hasil pengolahan *Time Frequency Analysis* pada titik T17 menunjukkan adanya hasil nilai amplitudo kontinu pada rentang frekuensi 4-5 Hz berada pada kisaran 2000-10.000 dB. Nilai ini kemudian menjadi validasi terdapatnya sungai bawah permukaan pada lokasi tersebut karena sesuai dengan karakteristik yang telah didefinisikan sebelumnya melalui penelitian (Bahri, 2018). Hal ini mengindikasikan bahwa aliran sungai mempengaruhi kontinuitas amplitudo pada hasil TFA titik T17 sehingga dapat diinterpretasikan bahwa daerah bukit yang dialiri sungai di bawahnya menunjukkan kontinuitas amplitudo pada komponen vertikal dari hasil TFA (Paul Chemistra dkk., 2018).

#### 4.4 Integrasi Hasil Analisa

Dalam sub-bab ini akan dibahas hasil analisa ketiga metode mikrotremor yang digunakan pada penelitian ini, yaitu metode HVSR, *Particle Motion*, dan *Time Frequency Analysis* serta integrasinya dengan beberapa metode yang merupakan bagian dari penelitian kawasan karst Pacitan lainnya. Metode yang diintegrasikan dengan metode mikrotremor pada penelitian ini adalah metode geolistrik 2D (Nawang Sari, 2020) dan hasil penelitian metode VLF (Putri, 2020). Metode geolistrik digunakan untuk memvalidasi lapisan batuan yang berada di sekitar lokasi penelitian. Sedangkan hasil penelitian VLF digunakan untuk memvalidasi aliran sungai bawah permukaan pada lokasi penelitian.

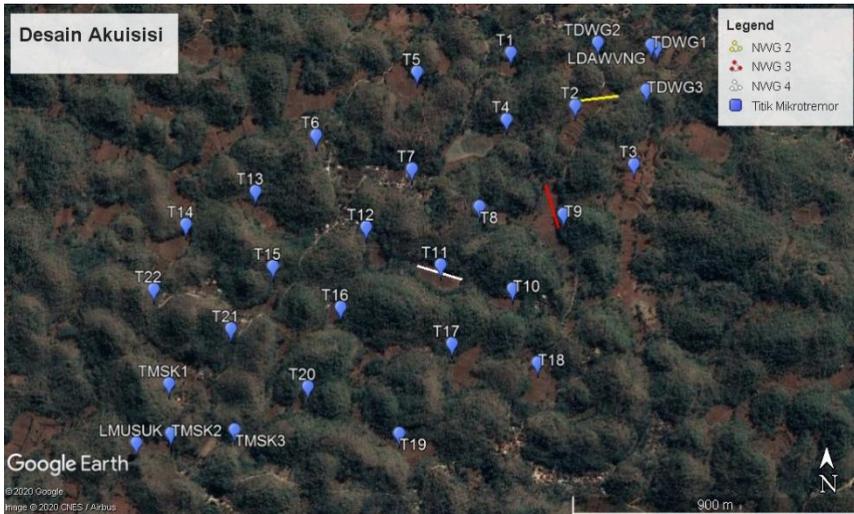
Berdasarkan pengolahan data mikrotremor metode HVSR didapatkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dengan rentang dan karakteristik yang berbeda. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh ketebalan sedimen serta kondisi lingkungan tiap titik pengukuran pada daerah penelitian. Daerah penelitian ini didominasi perbukitan dan dolina yang merupakan salah satu ciri khas dari daerah karst. Nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) terbagi dalam dua rentang nilai yaitu nilai frekuensi dominan yang relatif rendah ( $<10$  Hz) dan nilai frekuensi dominan yang relative tinggi ( $>10$  Hz). Hal ini berdasarkan hasil interpretasi pada peta persebaran frekuensi dominan yang mengindikasikan frekuensi dominan  $>10$  Hz merupakan daerah perbukitan dan  $<10$  Hz merupakan daerah ladang sebagaimana pada gambar 4.16.



**Gambar 4. 16** Overlay peta kontur  $f_0$  pada lokasi penelitian

Berdasarkan gambar 4.16 nilai frekuensi dominan di daerah perbukitan lebih tinggi bila dibandingkan daerah ladang. Nilai frekuensi dominan di daerah perbukitan karst memiliki nilai yang relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan daerah ladang karena bukit di daerah karst merupakan bukit batu yang terdiri dari batuan terumbu yang sangat keras hingga menyerupai batuan beku. Hal ini menyebabkan lokasi tersebut memiliki ketebalan *top soil*/sedimen yang tipis bahkan mendekati nol di beberapa lokasi.

Ketebalan lapisan ini sangat berpengaruh pada perambatan gelombang yang nantinya berpengaruh juga pada nilai frekuensi dominan. Hal ini sesuai dengan hasil pengukuran resistivitas 2D yang dilakukan di sekitar lokasi penelitian. Berikut adalah *plotting* lokasi pengukuran resistivitas 2D pada lokasi penelitian yang berdekatan dengan pengukuran mikrotremor.



**Gambar 4. 17** Plotting lintasan resistivitas terhadap lokasi penelitian

Gambar 4.17 menunjukkan lokasi pengukuran resistivitas 2D terhadap lokasi pengukuran mikrotremor. Lintasan NWG 2 berada di sebelah barat daya Luweng Dawung, lintasan ini memotong jalan dan ladang kering turun sengkedan. Lintasan NWG 3 berada di ladang kering yang mana dekat dengan manifestasi luweng dan tanah yang mengalami penurunan di tengah ladang. Sedangkan lintasan NWG 4 berada di ladang kering yang mana dekat dengan manifestasi luweng yang ditimbun batu. Berikut adalah hasil pengolahan 2D pada lintasan NWG 2, NWG 3, dan NWG 4 yang berada pada lokasi pengukuran mikrotremor.

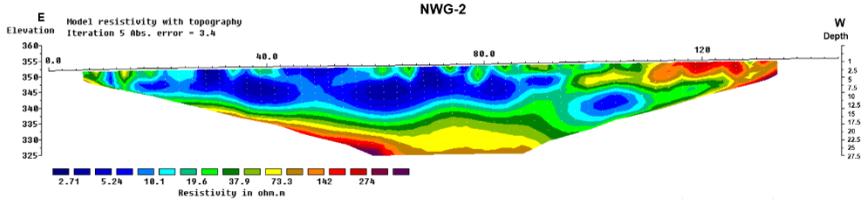
Jika data pengukuran mikrotremor dikorelasikan dengan data resis 2D yang dilakukan Putri Nawangsari, lintasan pengukurannya berada di sekitar T2, T9, dan T11 yang menunjukkan ketebalan lapisan sedimen menyerupai dengan hasil perhitungan ketebalan lapisan sedimen (lapisan lunak) berdasarkan rumus (2). Berdasarkan perhitungan rumus (2), jika diambil titik T2 yang berada di sekitar line NWG 2 memiliki nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) 4,7 Hz dan memiliki  $V_s$  325,220 m/s berdasarkan data USGS menghasilkan ketebalan sedimen:

$$h = \frac{Vs}{4f_0}$$

$$h = \frac{325,220 \text{ m/s}}{4 \times 4,7}$$

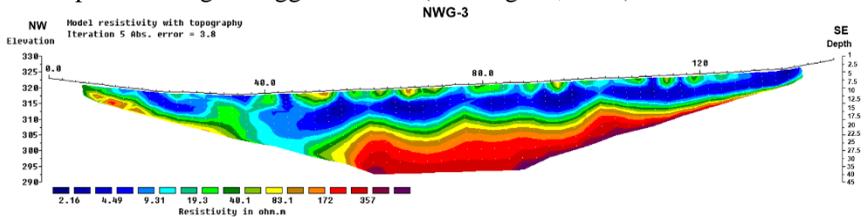
$$h = 17,29 \text{ m}$$

Ketebalan sedimen pada titik T2 yang berada di sekitar lintasan NWG 2 adalah 17,29 m, pada titik T9 yang berada di sekitar lintasan NWG 3 13,17 m, serta pada titik T11 yang berada di sekitar lintasan NWG 4 23,21 m. Selanjutnya ketebalan lapisan sedimen ketiga titik berdasarkan rumus (2) ini dikorelasikan dengan hasil penampang resistivitas 2D yang ketiga lintasannya mencakup 3 titik ini.



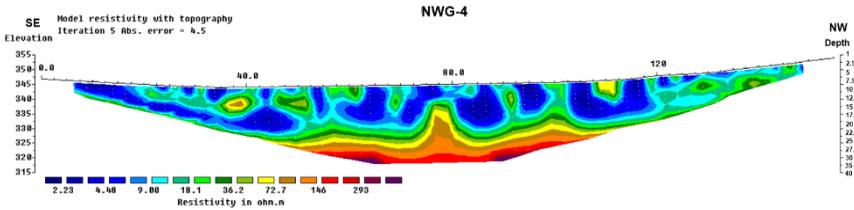
**Gambar 4. 18** Hasil pengukuran resistivitas 2D lintasan NWG2 (Nawangsari, 2020)

Gambar 4.18 menunjukkan hasil inversi penampang lintasan NWG-2 yang berarah barat-timur. Nilai resistivitas 0-20 ohm.meter diinterpretasi sebagai lapisan penutup hasil karstifikasi, pelarutan yang dikontrol oleh stuktur, dan pelapukan batuan yang lebih tua dengan ketebalan mencapai 16 m dari permukaan. Terdapat anomali yang berada pada meter ke 114-134 di kedalaman 6 meter dari permukaan dengan nilai resistivitas 3-10 ohm.meter yang diinterpretasi sebagai rongga berisi air (Nawangsari, 2020).



**Gambar 4. 19** Hasil pengukuran resistivitas 2D lintasan NWG3 (Nawangsari, 2020)

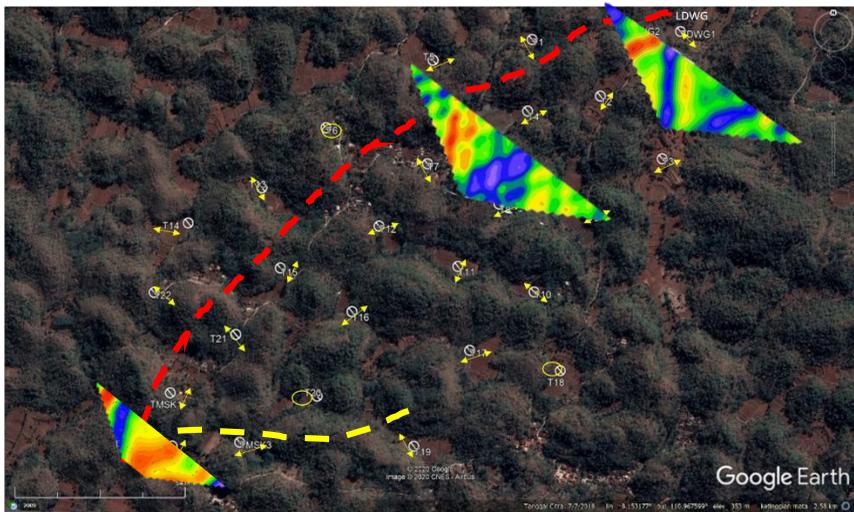
Gambar 4.19 menunjukkan hasil inversi penampang lintasan NWG-3 berarah barat-laut tenggara. *Range* nilai resistivitas yang ditunjukkan antara 2.16-357 ohm.meter. Nilai resistivitas 0-20 ohm.meter diinterpretasi sebagai lapisan penutup hasil karstifikasi, pelarutan yang dikontrol oleh stuktur, dan pelapukan batuan yang lebih tua dengan ketebalan mencapai 17 m. Pada permukaan terdapat tanah yang lebih kering dengan nilai resistivitas 15-20 ohm.meter dengan ketebalan sekitar 4 meter (Nawangsari, 2020).



**Gambar 4. 20** Hasil pengukuran resistivitas 2D lintasan NWG4 (Nawangsari, 2020)

Gambar 4.20 menunjukkan hasil inversi penampang lintasan NWG-4 berarah barat laut-tenggara. *Range* nilai resistivitas yang ditunjukkan antara 2.23-293 ohm.meter. Nilai resistivitas 0-20 ohm.meter diinterpretasi sebagai lapisan penutup hasil karstifikasi, pelarutan yang dikontrol oleh stuktur, dan pelapukan batuan yang lebih tua dengan ketebalan mencapai 20 m (Nawangsari, 2020).

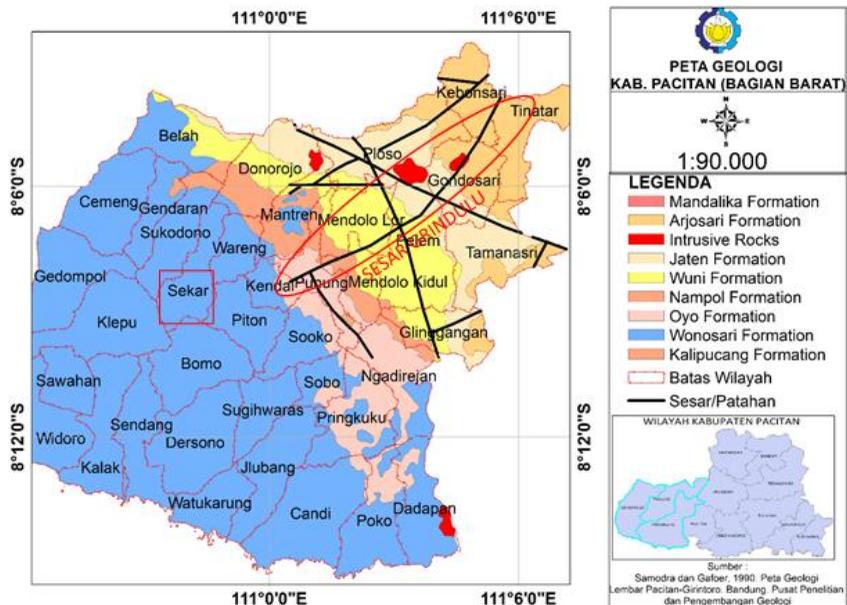
Selanjutnya, berdasarkan hasil analisa *particle motion*, didapatkan perkiraan arah aliran sungai bawah permukaan Luweng Dawung-Luweng Musuk pada lokasi penelitian yang mengacu dari arah resultan pergerakan partikel di setiap titik pengukuran.



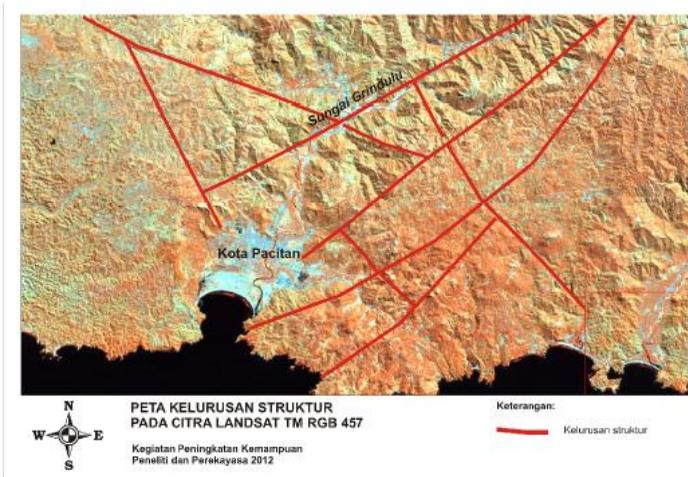
**Gambar 4. 21** Perkiraan arah aliran sungai bawah permukaan berdasarkan resultan *particle motion*

Dari hasil tersebut didapatkan bahwa arah aliran sungai bawah permukaan di lokasi penelitian memiliki orientasi arah dari timur laut-barat daya. Arah aliran ini diperkirakan sebagai akibat dari adanya sesar mendatar Sesar Grindulu. Hal ini menunjukkan adanya kesamaan antara arah aliran sungai

bawah permukaan dengan arah sesar, sebagaimana terlihat pada gambar berikut ini.



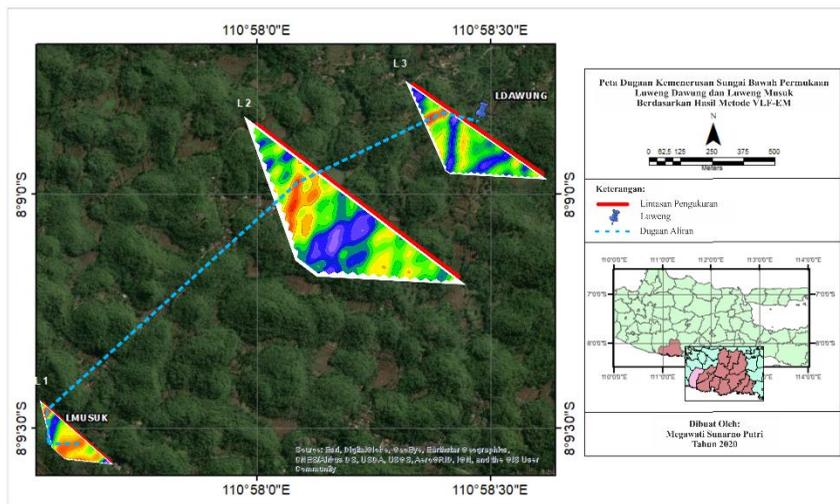
**Gambar 4. 22** Peta Geologi Daerah Penelitian (Samodra dan Gafner, 1990 yang telah dimodifikasi)



**Gambar 4. 23** Pola kelurusan struktur sesar di Kabupaten Pacitan (Hidayat *et al.*, 2012)

Gambar 4.22 dan 4.23 menunjukkan bahwa sesar grindulu memiliki orientasi arah timur laut-barat daya. Sesar Grindulu berada pada kedalaman antara 4.000 meter sampai 6.000 meter dan berorientasi barat daya-timur laut. Sesar Grindulu memiliki jenis sesar geser dan sesar turun sedikit *oblique* yang diperoleh dari analisis struktur jenis patahan yang dibuat melintang tegak lurus di wilayah dugaan Sesar Grindulu berdasarkan anomali gravitasi (Parrera *et al.*, 2015). Jika merujuk pada penelitian Aliyan (2018) sesar ini menyebabkan terjadinya deformasi sehingga menyebabkan terbentuknya kekar pada daerah disekitar lokasi sesar. Kekar-kekar ini menyebabkan terbentuknya celah-celah kecil yang semakin mempercepat proses karstifikasi pada kawasan karst. Hal ini secara tidak langsung menyebabkan keberadaan sesar mempengaruhi terbentuknya aliran sungai bawah permukaan.

Selain itu, jika dilihat pada gambar 4.21 terdapat percabangan aliran sungai bawah permukaan di sekitar Luweng Musuk. Hal ini terkonfirmasi pada penelitian Megawati Sunarno Putri (2020) tentang metode VLF di lokasi penelitian yang sama. Berikut penampang dugaan kemenerusan aliran sungai bawah permukaan Luweng Dawung-Luweng Musuk berdasarkan penelitian metode VLF.



**Gambar 4. 24** Peta Dugaan Kemenerusan Aliran Sungai Bawah Permukaan antara Luweng Dawung dan Luweng Musuk (Putri, 2020)

Pada gambar 4.24 terlihat bahwa ndikasi arah aliran dari Luweng Dawung menuju Luweng Musuk dengan azimuth  $N45^{\circ}E$ -  $N65^{\circ}E$ . Terdapat dua cabang aliran disekitar Luweng Musuk, namun tidak muncul pada lintasan 2.



Diduga kemenerusan sungai bawah permukaan berada di kedalaman 15-50 meter (Putri, 2020).

Selanjutnya, berdasarkan hasil *Time Frequency Analysis* menunjukkan bahwa sungai bawah permukaan yang dianalisa dari medan yang berbeda di lokasi penelitian memiliki karakteristik yang khas dan kemudian dijadikan dasar identifikasi adanya sungai bawah permukaan pada lokasi tersebut. Hasil yang didapatkan berupa analisa dari nilai amplitudo yang kontinyu di setiap waktu yang menjadi acuan adanya sumber getar kontinyu yang diinterpretasikan sebagai sungai bawah permukaan. Berdasarkan hasil analisa tersebut, dapat diinterpretasikan bahwa karakteristik sungai bawah permukaan di lokasi penelitian memiliki nilai 4-5 Hz dengan amplitudo berkisar dari 2000–20000 dB. Hasil ini memiliki kesesuaian data dengan hasil penelitian sebelumnya oleh (Paul Chemistra dkk., 2018). yang memiliki nilai frekuensi 4 -5 Hz dengan amplitudo berkisar dari 2000 dB – 10.000 dB. Hal ini sekaligus memvalidasi hasil pengolahan *Time Frequency Analysis* ini dalam mengidentifikasi keberadaan sungai bawah permukaan pada lokasi penelitian.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB V SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan interpretasi data, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan analisis kurva HVSR, pada lokasi penelitian terdapat dua zona karakter nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) berdasarkan lokasi pengukuran yaitu zona  $f_0$  yang bernilai rendah dengan rentang  $f_0 < 10$  Hz yang terletak di daerah dolina atau ladang dan zona  $f_0$  yang bernilai tinggi dengan rentang  $> 10$  Hz yang terletak di bukit dan daerah sekitar luweng.
2. Hasil pemetaan sungai bawah permukaan berdasarkan resultan *particle motion*, diinterpretasikan aliran sungai bawah permukaan Luweng Dawung-Luweng Musuk memiliki orientasi arah Timur Laut-Barat Daya (NE-SW). Berdasarkan hasil analisa tersebut, dapat disimpulkan bahwa aliran sungai bawah permukaan dikontrol oleh Sesar Grindulu yang memiliki orientasi arah Timur Laut-Barat Daya.
3. Berdasarkan hasil *Time Frequency Analysis* (TFA), komponen vertikal (Z) menjadi komponen untuk melihat karakter kontinuitas amplitudo hasil TFA karena getaran yang dihasilkan aliran sungai menimbulkan amplitudo yang kontinu terhadap permukaan dengan nilai amplitudo 2.000 -20.000 dB pada rentang frekuensi 4-5 Hz.

### 5.2 Saran

Mengacu pada hasil penelitian dan pembahasan, diperoleh beberapa saran sebagai bahan perbandingan dalam penelitian yang akan lebih lanjut. Saran pengembangan penelitian ini lebih lanjut adalah:

1. Studi metode geofisika lain yang bersifat lebih lokal untuk validasi arah aliran sungai bawah permukaan pada daerah penelitian.
2. Identifikasi sungai bawah permukaan pada penelitian ini disarankan untuk mengembangkan analisa komponen vertikal terhadap komponen horizontal pada metode *particle motion* tiap titik pengukuran agar dapat menentukan jarak sumber getaran (source) terhadap titik pengukuran secara akurat.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR PUSTAKA

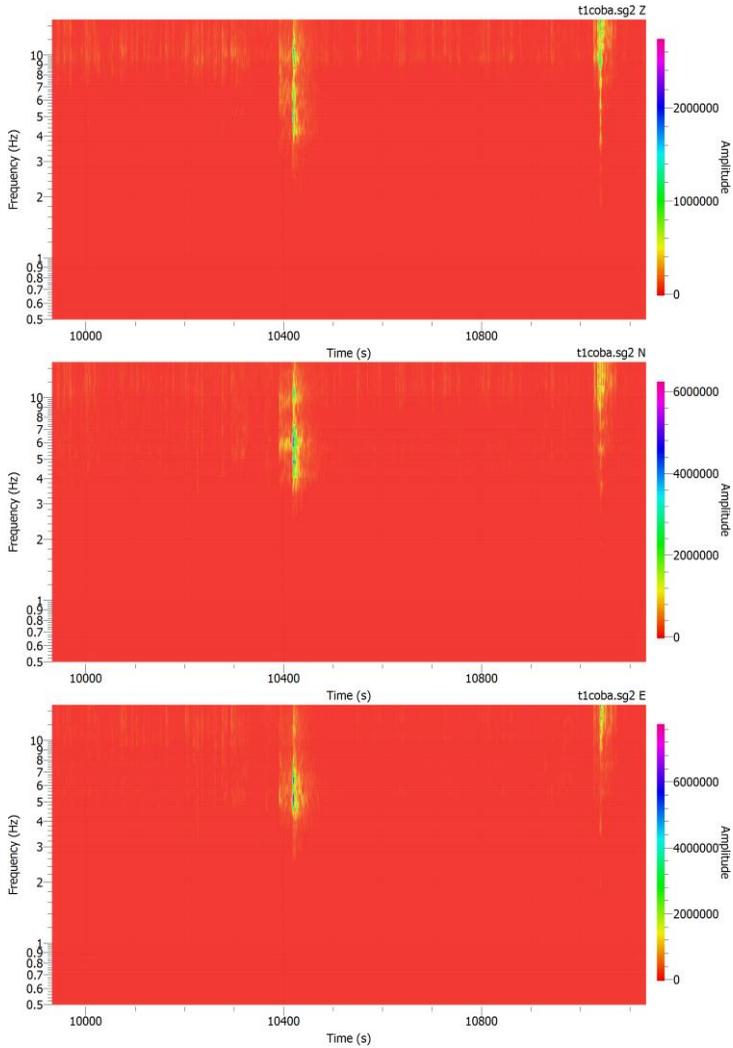
- Adji, T.N., Haryono, E. dan Woro, S. (1999), "Kawasan Karst dan Prospek Pengembangannya di Indonesia", *Seminar PIT IGI di Universitas Indonesia*,.
- Aliyan, S.A., 2018. "IDENTIFIKASI KONTROL STRUKTUR GEOLOGI TERHADAP POLA ALIRAN SUNGAI BAWAH PERMUKAAN DI KAWASAN KARST PRINGKUKU, PACITAN (Tesis)". Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Bahri, A.S., Aliyan, S.A., Widodo, A., Rahmat, M., Purwanto, M.S., Fajar, M.H.M., Hardyani, P.V. dan Alita, W. (2020), *Petrography and Geochemistry of Structural Limestones in The Pringkuku Karst Area , Pacitan , East Java*,.
- Van Bemmelen, R.W. (1949), "The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes" *Government Printing Office, The Hague*. <http://doi.org/10.1109/VR.2018.8447558>.
- Brahmantyo, A., Setiawan, M.R. dan Wahyudi, W. (2016), "Microtremor analysis to test the durability of Jumoyo Bridge, Central Java", *AIP Conference Proceedings*, Vol.1708, No.February, hal. 1–5. <http://doi.org/10.1063/1.4941177>.
- Chemistra, P., Bahri, A.S., Utama, W. dan Widodo, A. (2018), "Characterization of microtremor for the identification of subsurface rivers at Kedung Banteng, Pacitan, Indonesia", *EAGE-HAGI 1st Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience and Engineering*, No.July, hal. 10–14. <http://doi.org/10.3997/2214-4609.201800395>.
- Chemistra, Paul, Geofisika, D.T., Teknik, F., Lingkungan, S. dan Kebumian, D.A.N. (2018), *Karakterisasi Data Mikrotremor Berdasarkan Analisis Kurva Hvsr , Particle Motion , Dan Time Frequency Analysis Pada Sistem Sungai Kedung Analisis Kurva Hvsr , Particle Motion , Dan Time*,.
- Cohen, L. (1995), "Time-frequency analysis / Leon Cohen" *Prentice-Hall signal processing series*.
- Fäh, D., Kind, F. dan Giardini, D. (2001), "A theoretical investigation of average HIV ratios", *Geophysical Journal International*, <http://doi.org/10.1046/j.0956-540X.2001.01406.x>.
- Ford, D. dan Williams, P. (2013), *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. <http://doi.org/10.1002/9781118684986>.

- Haryono, E. dan Adji, T.N. (2016), *Bahan Ajar Geomorfologi dan Hidrologi Karst*, hal. 45.
- Hidayat, E., Kumoro, Y., Raharjo, P.D., dan Puswanto, E. (2012). *Kajian Tektonik Aktif Pada Patahan Grindulu Untuk Mendukung Mitigasi Bencana Gempa*
- Jankowski, J. (2010), "Surface water-groundwater interaction in the fractured Sandstone aquifer impacted by mining-induced subsidence: 2. Hydrogeochemistry", *Biuletyn - Panstwowego Instytutu Geologicznego*,.
- Kanai, K., TANAKA, T. dan OSADA, K. (1954), "Measurement of the Micro-tremor 1", *東京大学地震研究所彙報*,.
- Kumar, P. dan Foufoula-Georgiou, E. (1997), "Wavelet analysis for geophysical applications", *Reviews of Geophysics*, <http://doi.org/10.1029/97RG00427>.
- Kurniawati, D. (2014), *Penentuan Pusat Aktivitas Hidrotermal Daerah Cangar, Jawa Timur, Berdasarkan Analisis Pergerakan Partikel (Particle Motion)*, hal. 2–5.
- Lehmann, H. (1981), "Morphological studies in Java.", *Karst geomorphology*,.
- Linsley, R.K. (1949), "The Hydrologic Services of the Weather Bureau", *Weatherwise*, <http://doi.org/10.1080/00431672.1949.9927027>.
- Nakamura, Y. (1989), "Method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface", *Quarterly Report of RTRI (Railway Technical Research Institute) (Japan)*,.
- Prasetyadi, C., Sudarno, I., Indranadi, V. dan Surono (2011), "Pola dan Genesa Struktur Geologi Pegunungan Selatan, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah", *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, Vol.21, No.2, hal. hal 91-107. <http://doi.org/10.33332/jgsm.2011.v21i2.91-107>.
- Seht, M.I. Von dan Wohlenberg, J. (1999), "Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments", *Bulletin of the Seismological Society of America*,.
- Sitorus, N., Purwanto, S. dan Utama, W. (2017), "Analisis Nilai Frekuensi Natural dan Amplifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor HVSR", *Jurnal Geosaintek*, <http://doi.org/10.12962/j25023659.v3i2.2962>.

Todd, P.R. (1980), "Size and age of migrating New Zealand freshwater eels (*anguilla* spp.)", *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, <http://doi.org/10.1080/00288330.1980.9515871>.

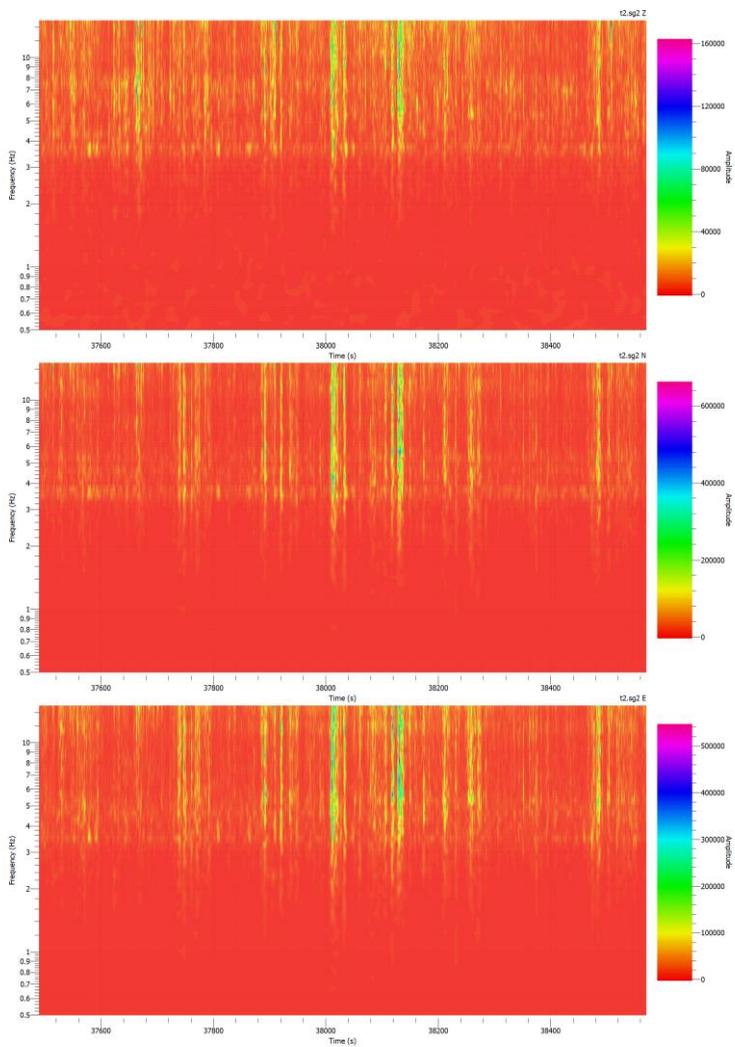
# LAMPIRAN

## HASIL TFA T1

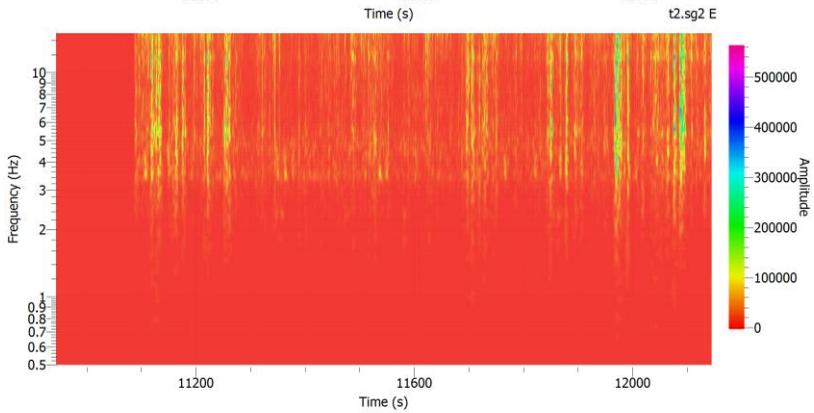
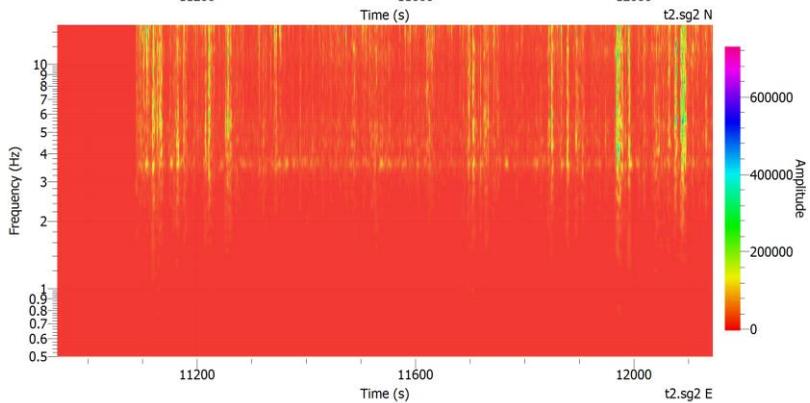
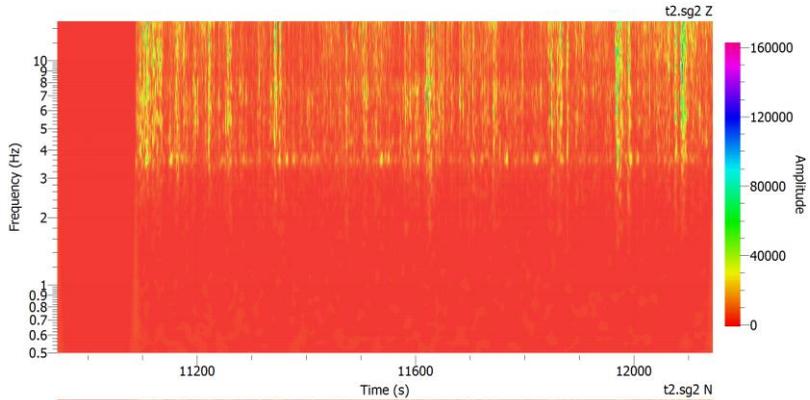




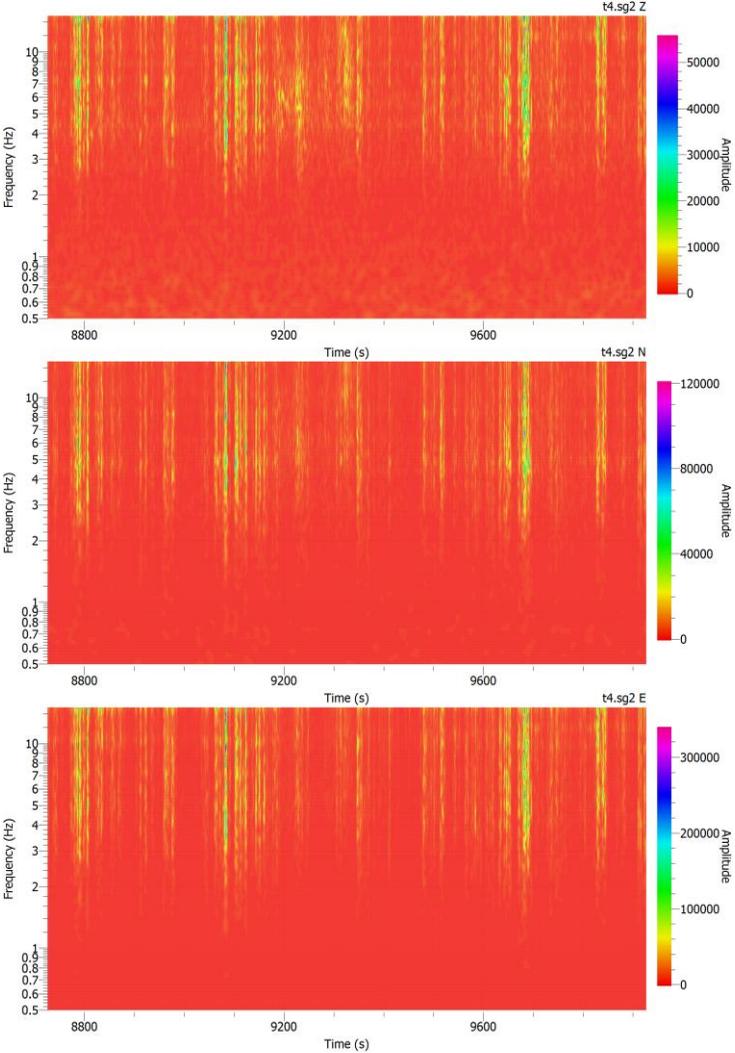
# HASIL TFA T2



# HASIL TFA T3



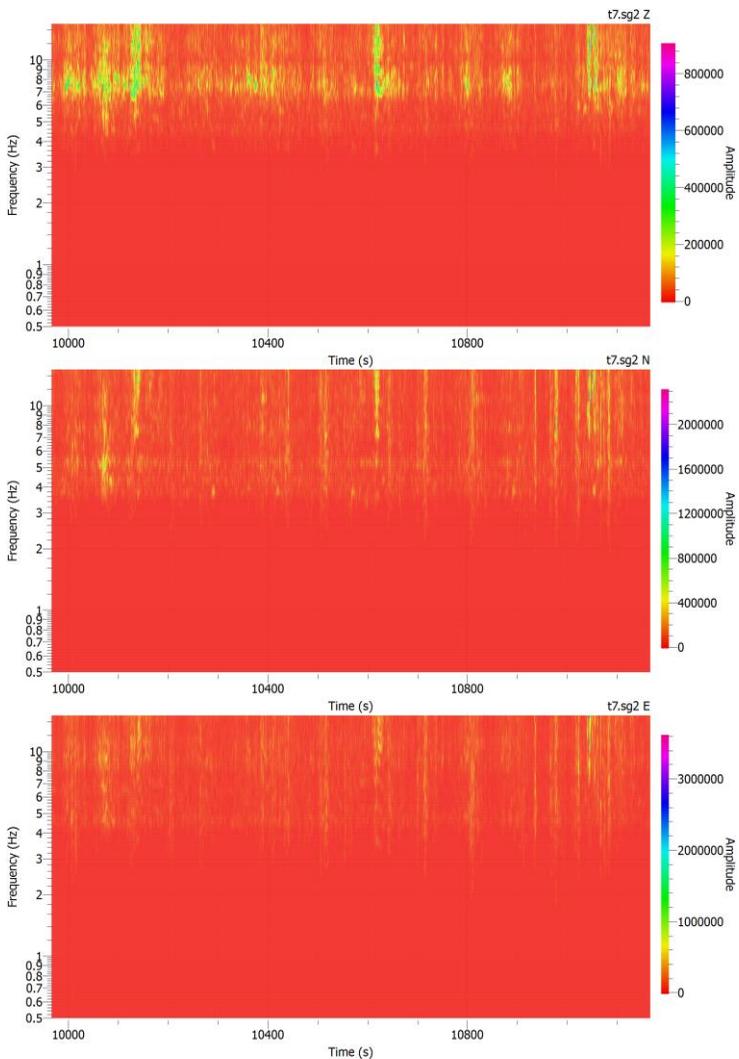
# HASIL TFA T4



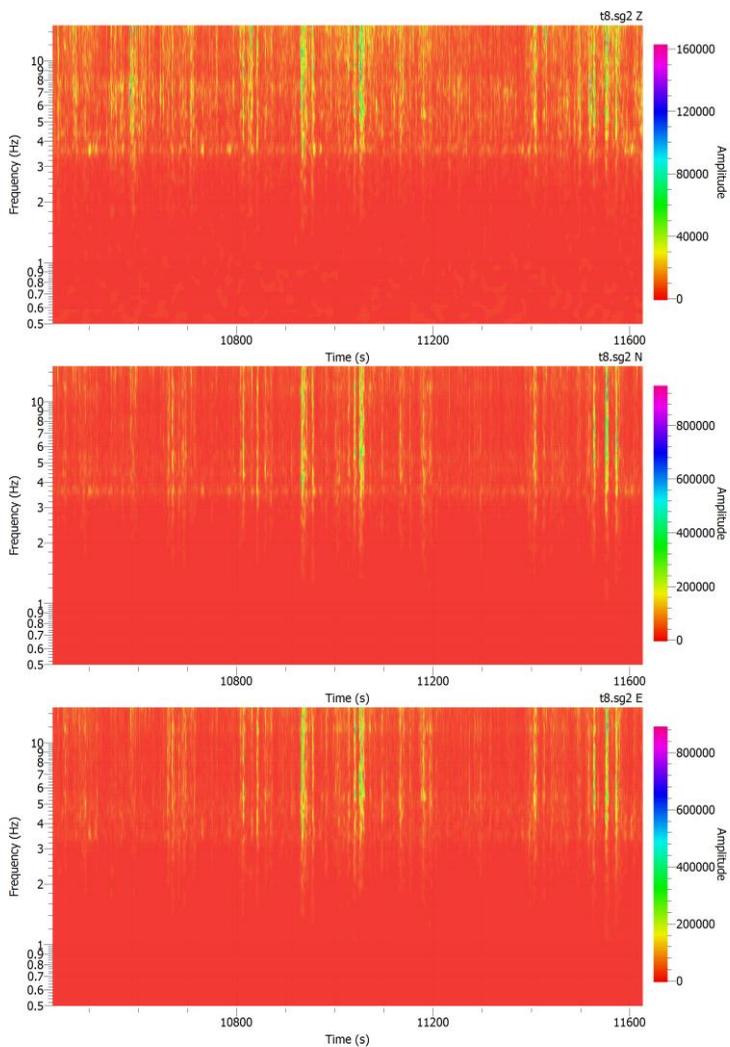
# HASIL TFA T6



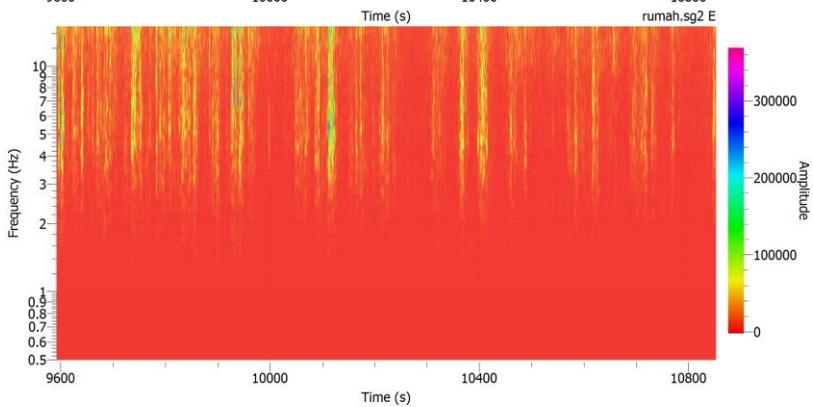
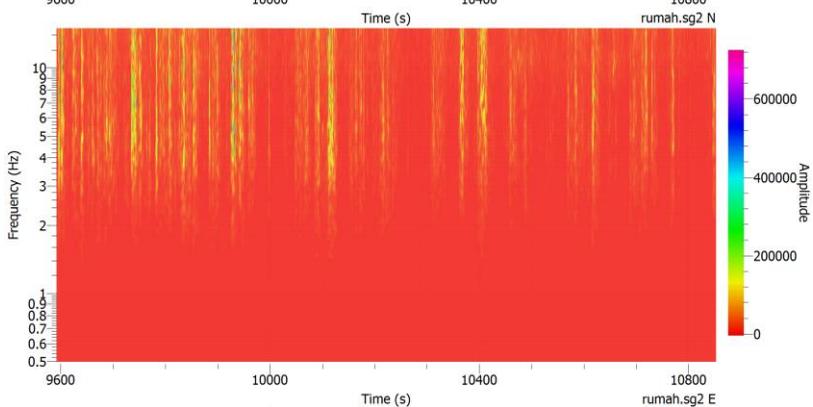
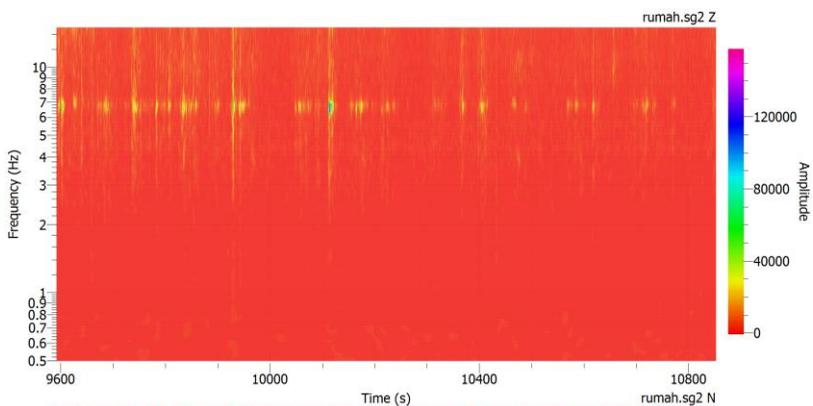
# HASIL TFA T7



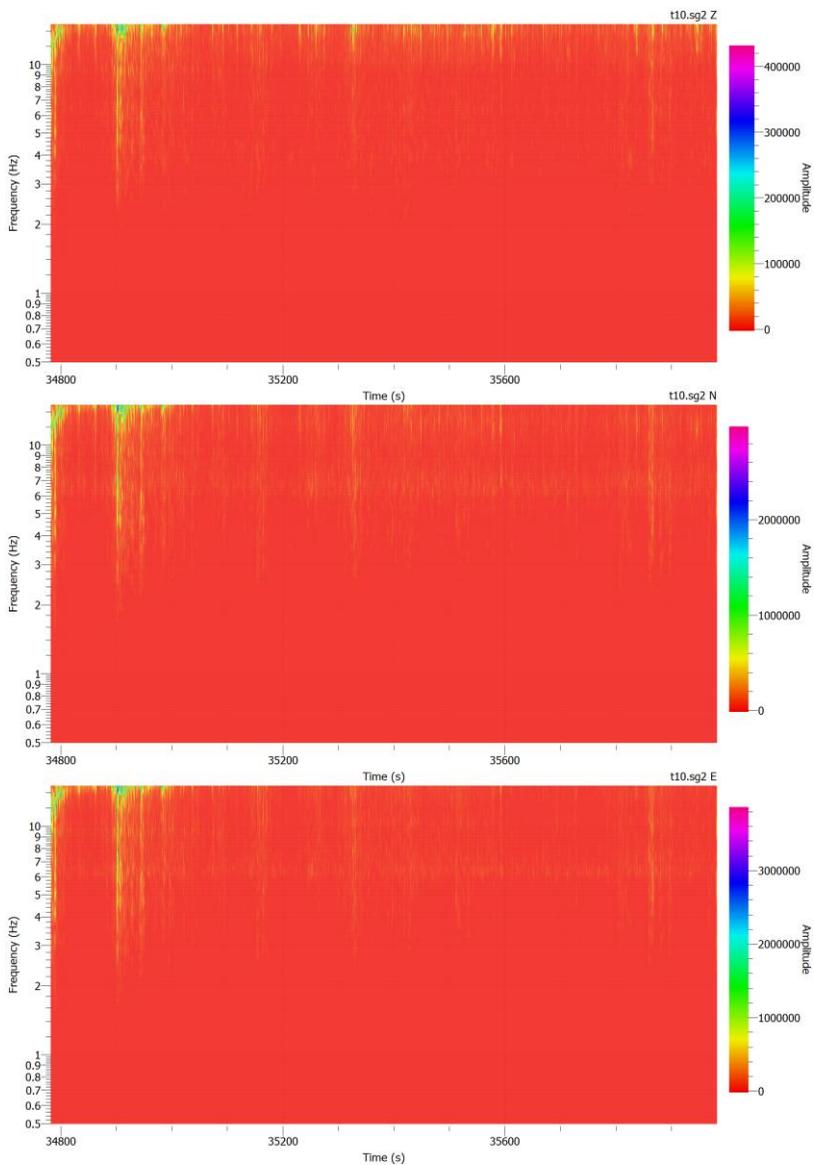
# HASIL TFA T8



# HASIL TFA T9

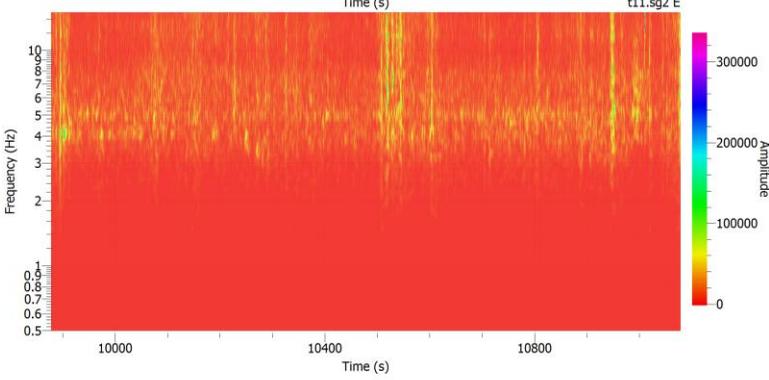
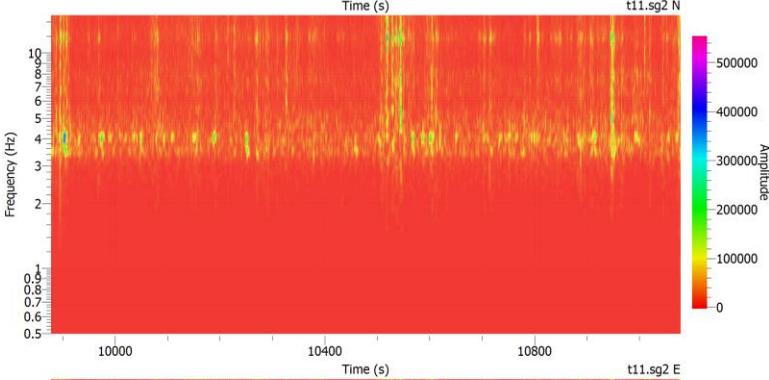
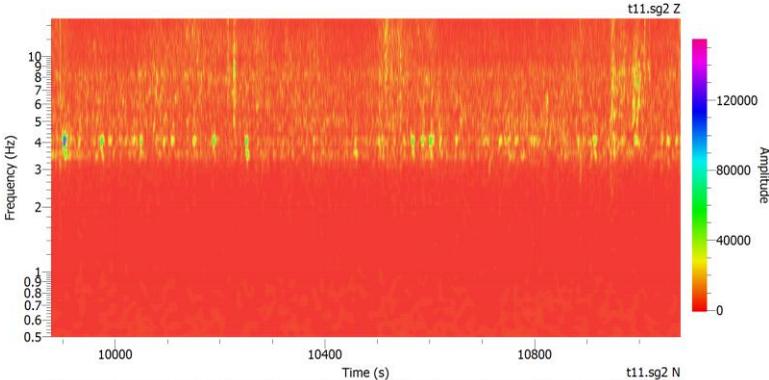


# HASIL TFA T10

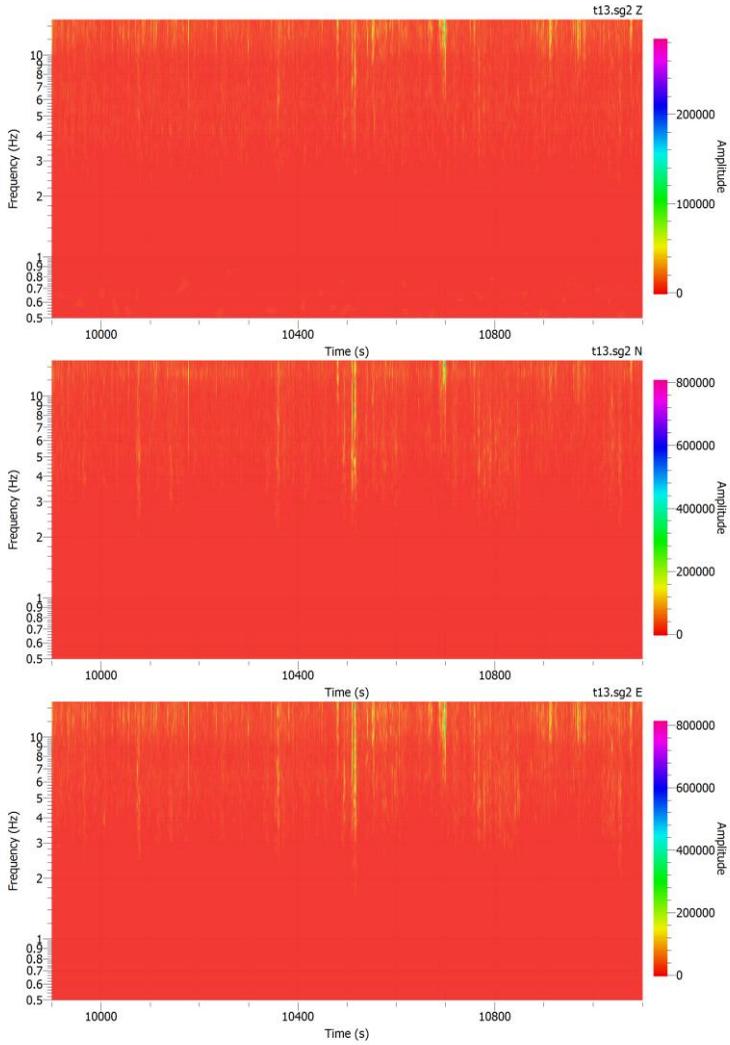




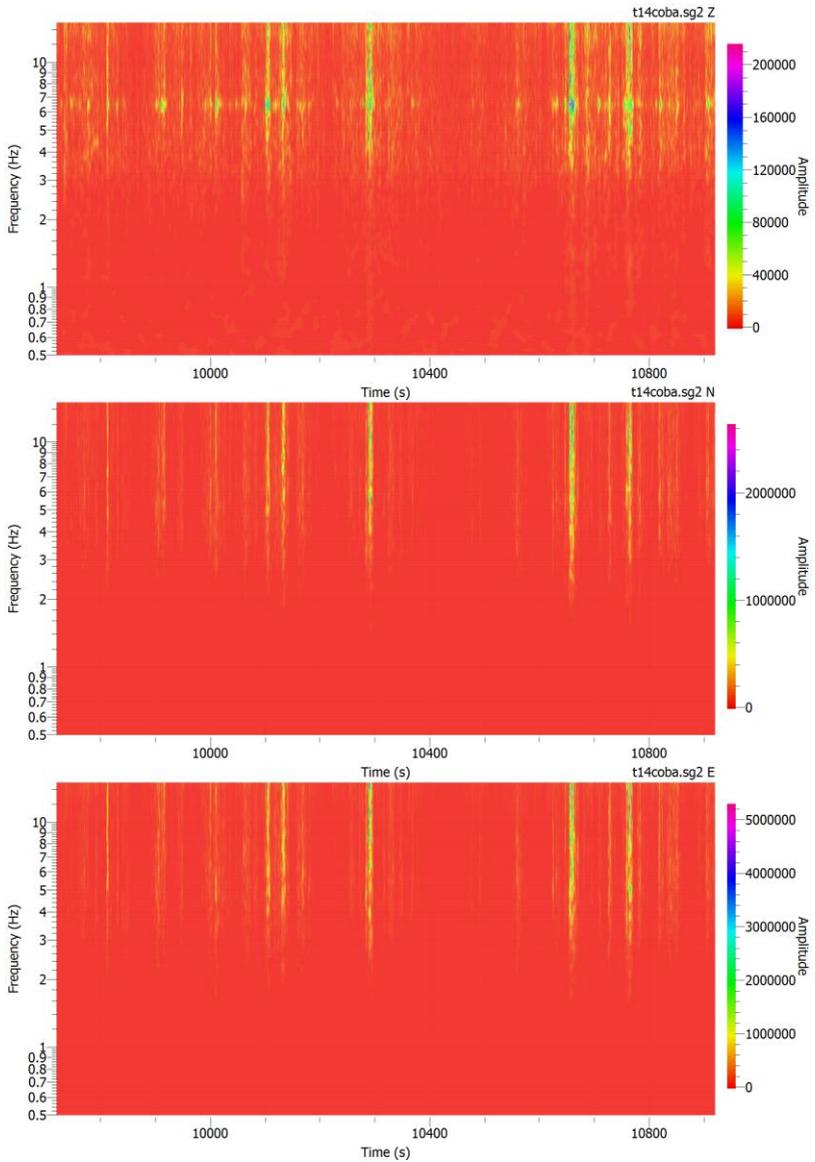
# HASIL TFA T11



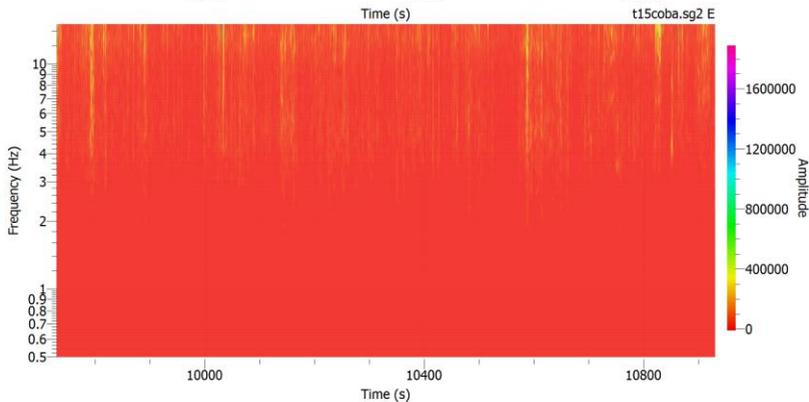
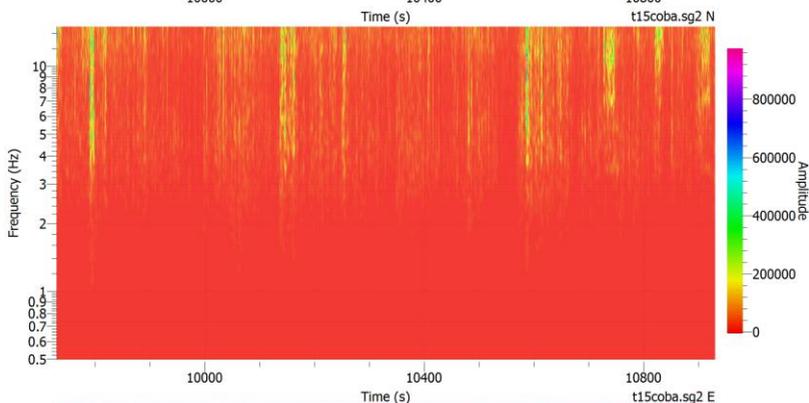
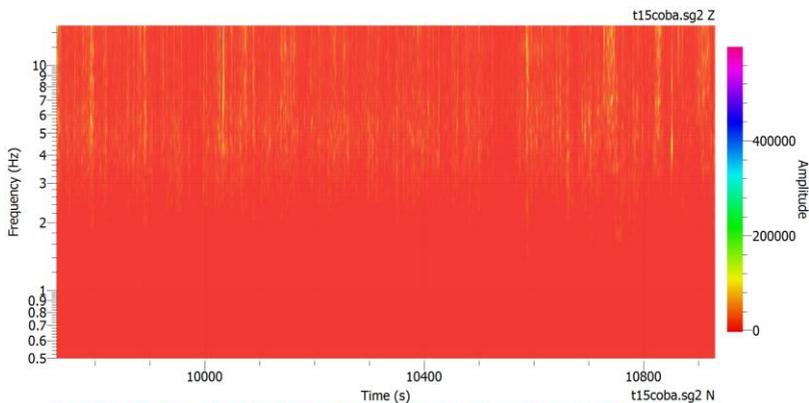
# HASIL TFA T13



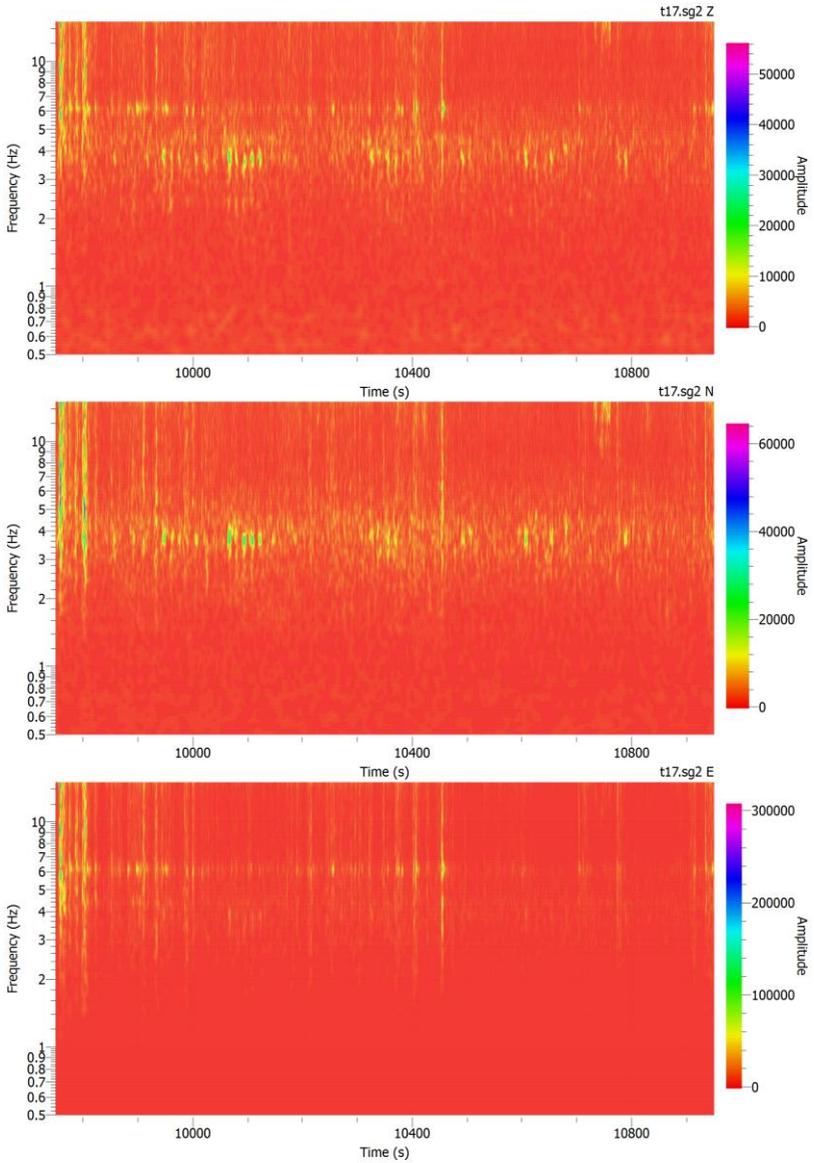
# HASIL TFA T14



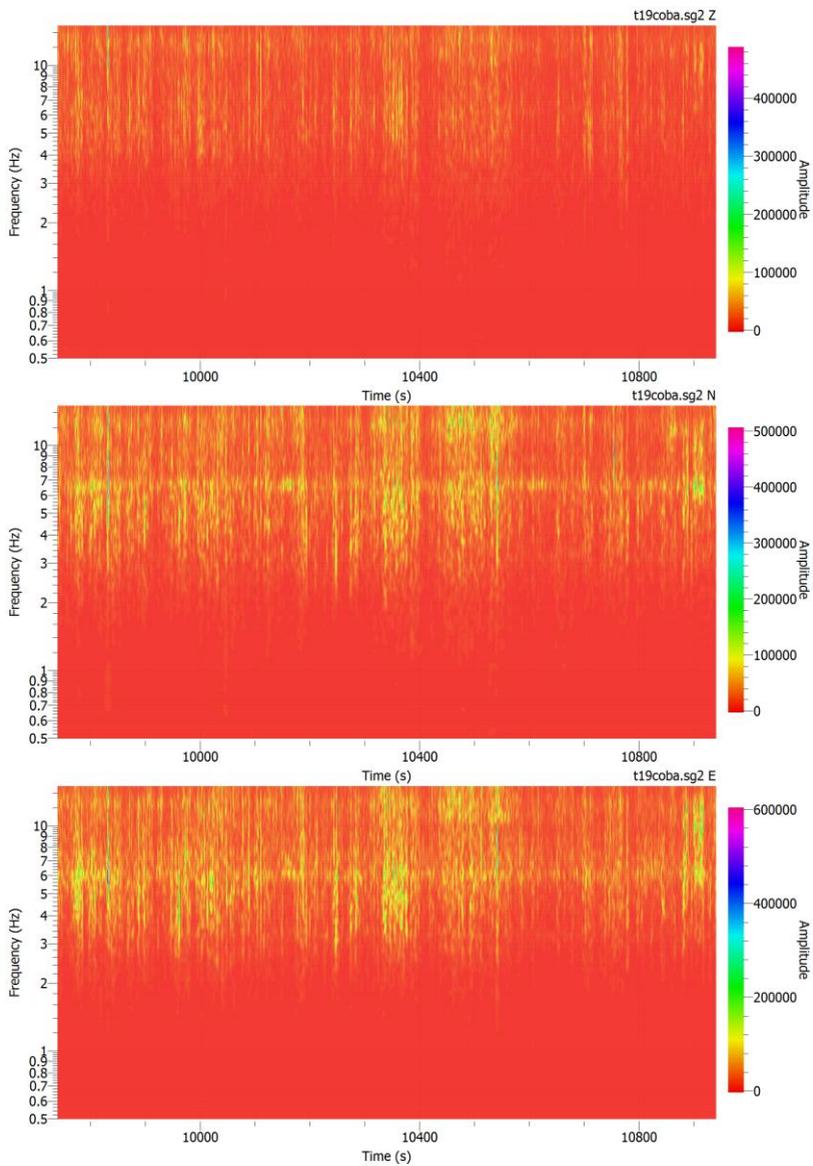
# HASIL TFA T15



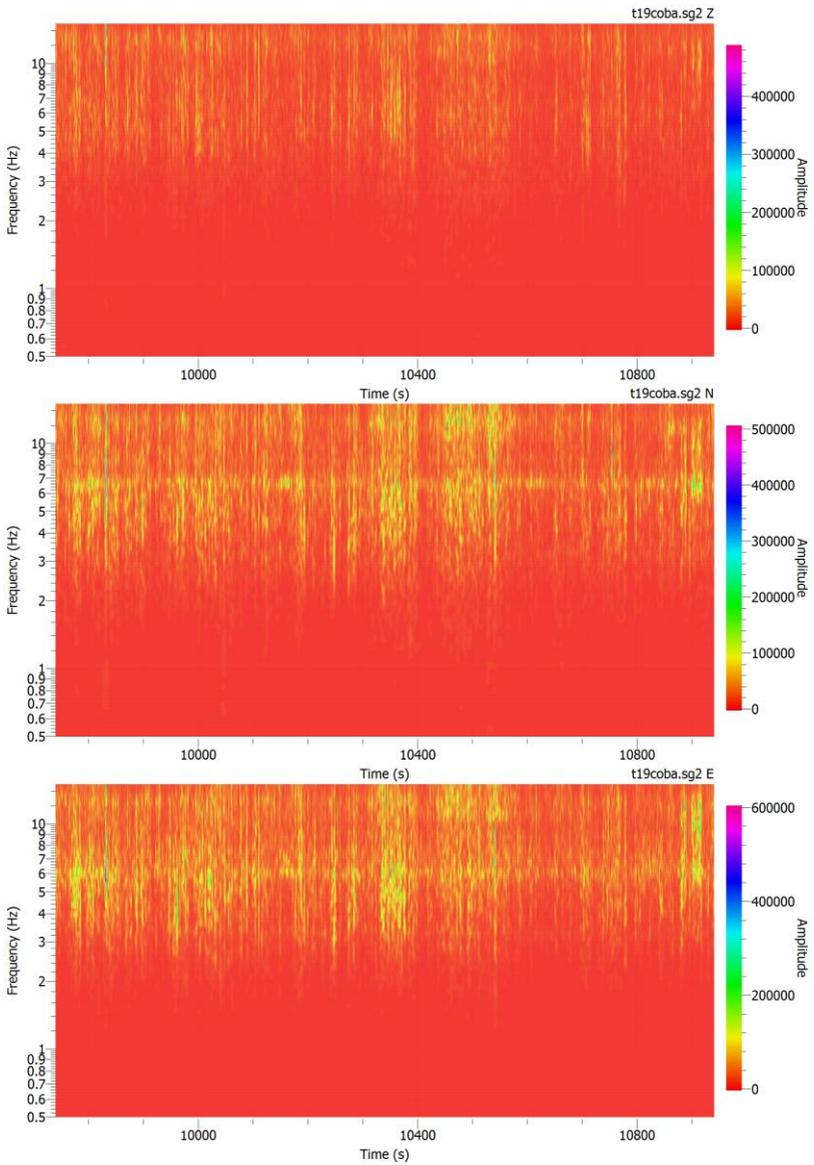
# HASIL TFA T16



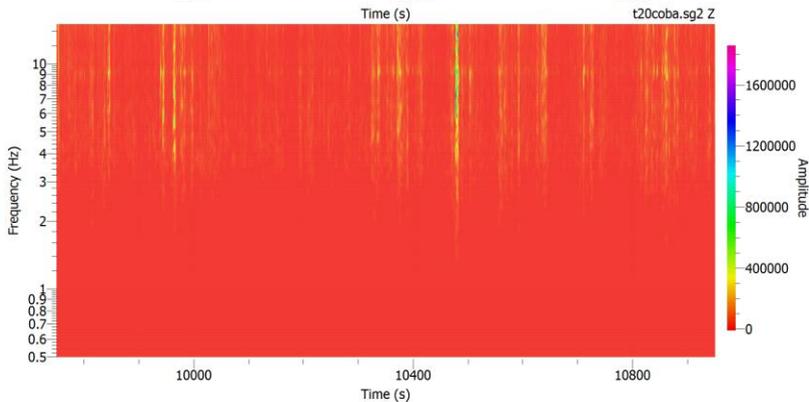
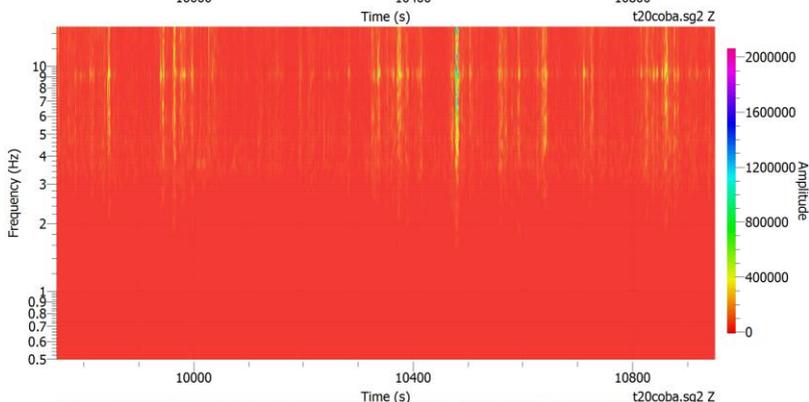
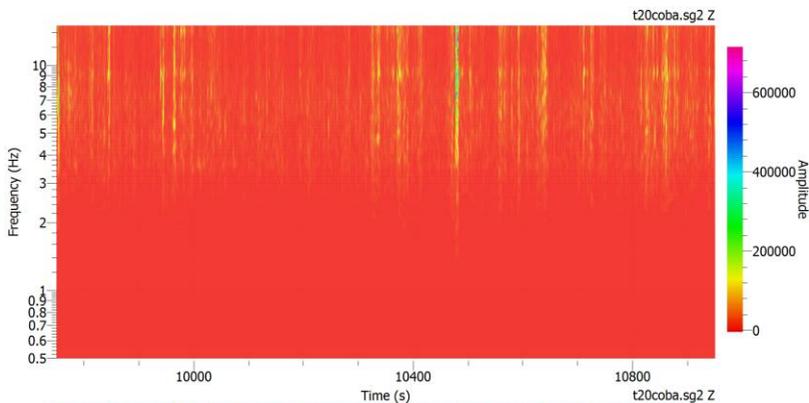
# HASIL TFA T18



# HASIL TFA T19

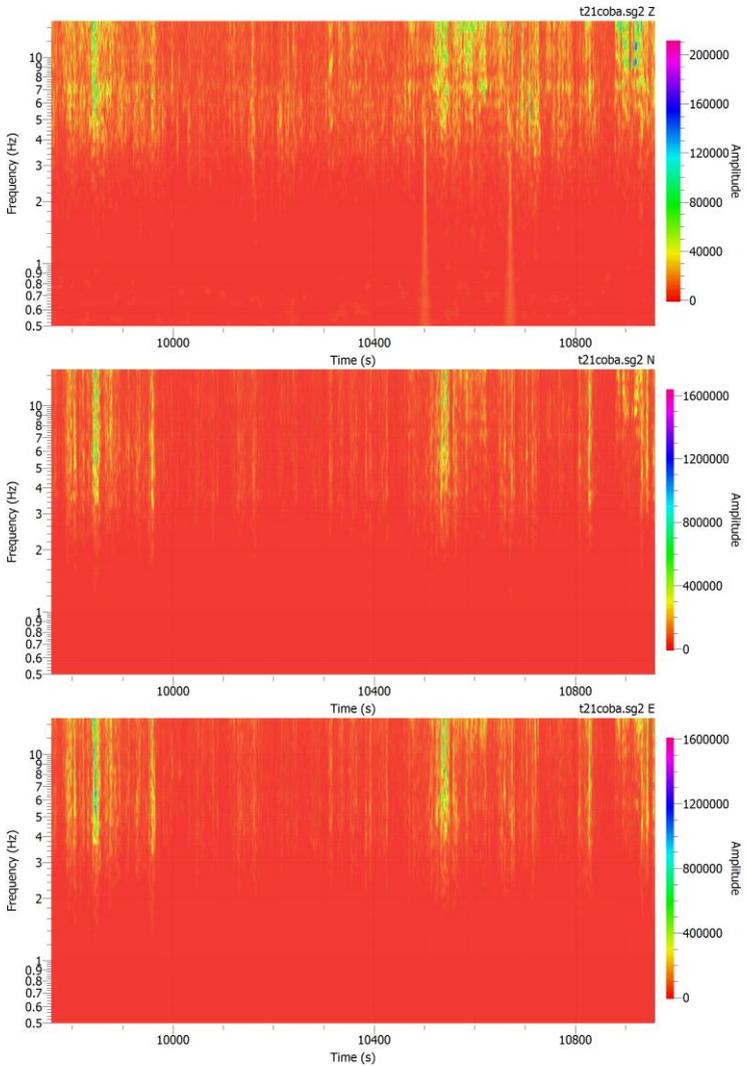


# HASIL TFA 20

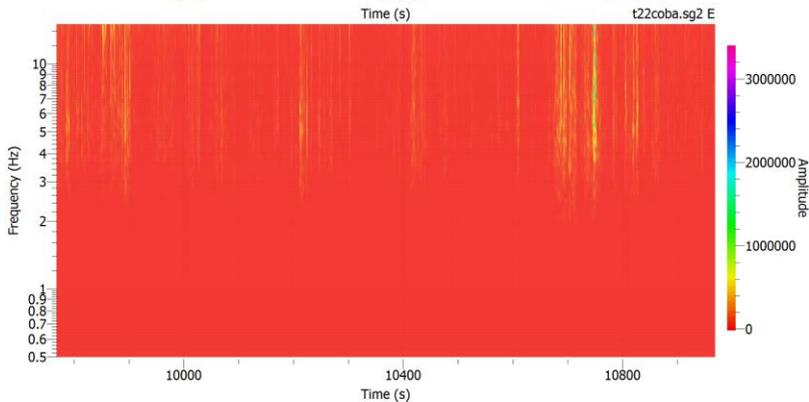
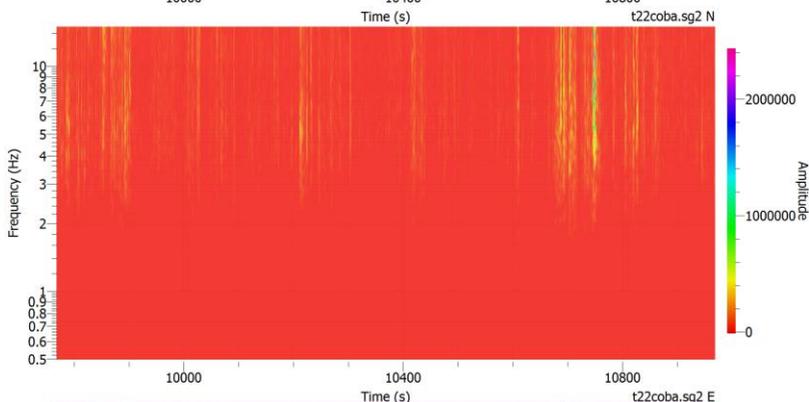
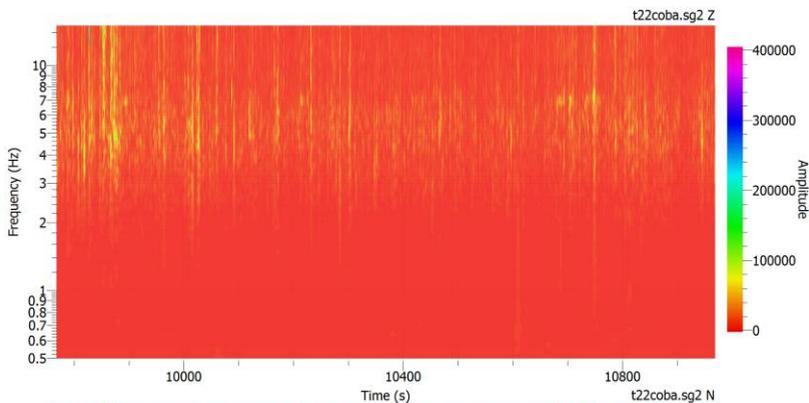




# HASIL TFA T21



# HASIL TFA T22



## DOKUMENSI KEGIATAN







## BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Diki Setiawan lahir di Banyuwangi, 15 Oktober 1998. Penulis merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Pendidikan formal penulis dimulai di MI Hidayatul Muftadi'in, Balak tahun kelulusan 2010, MTs Hidayatul Muftadi'in (2010-2013), SMAN 1 Genteng (2013-2016) lalu penulis menempuh perkuliahan di Teknik Geofisika ITS pada 2016. Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS, penulis aktif dalam organisasi dan mendapatkan beberapa pengalaman. Penulis aktif di organisasi antara lain : Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HMTG)

ITS sebagai staff Departemen Ristek (2017-2018) dan sebagai Kepala Departemen Keprofesian dan Keilmiahan (2018-2019); LDJ AL- ARDH sebagai staff Departemen Sosial Project (2017-2018) dan sebagai Kepala Departemen Mentoring (2018-2019); dan BEM FTSLK sebagai Wakil Ketua BEM (2018). Penulis juga memiliki beberapa pengalaman dalam kepanitiaan antara lain : sebagai staff Sie Humas di PLESIR KAMPUNG 2017 yang diadakan oleh BEM FTSP ITS; sebagai staff Sie Sponsorship di GEOSPHERE 2017 yang diadakan oleh HMTG ITS; sebagai staff Sie Keamanan dan Perizinan ITS EXPO 2017 yang diadakan oleh BEM ITS; sebagai koor Sie Acara Petrophysics Training 2018 yang diadakan HMTG ITS; sebagai Ketua Pelaksana Riset Penelitian Galengdowo Jombang 2018; sebagai Pemandu Integralistik GERIGI ITS 2018; sebagai koor panitia mahasiswa di FGD DAS REJOSO 2018 yang diadakan FTSLK ITS dengan Pemkab Jawa Timur; dan sebagai Wakil Ketua Pelaksana Kuliah Lapangan Terpadu Gondang. Selain itu penulis juga mempunyai riwayat pelatihan antara lain : LKMW yang diselenggarakan oleh BEM ITS (2016); PKTI-TD yang diselenggarakan oleh HMTG ITS dan HMTL ITS (2016); Pelatihan Kuliah Lapangan yang diselenggarakan oleh HMTG ITS (2016); LKMM tingkat Pra-TD yang diselenggarakan oleh BEM FTSP ITS (2016); LKMM TD yang diselenggarakan oleh HMTG ITS (2017); dan LKMM TM yang diselenggarakan oleh BEM FTSLK ITS (2018). Pada bidang akademik, penulis juga memiliki pengalaman pelatihan antara lain : *Field Trip* Wringinanom (2017) yang diselenggarakan oleh Departemen Teknik Geofisika ITS; Kuliah Lapangan LIPI Karangasambung (2018) yang diselenggarakan oleh Departemen Teknik Geofisika ITS; *Petrophysics Training* 2019 yang diselenggarakan oleh HMTG ITS; dan Kuliah Lapangan Terpadu Gondang, Bojonegoro (2019) yang diselenggarakan oleh Departemen Teknik Geofisika ITS. Selain itu penulis juga mengikuti kompetisi bidang akademik diantaranya PKM Terdanai Tahun 2016;

menjadi finalis *paper competition* AIEG UI pada tahun 2019; dan menjadi juara 1 paper&poster competition GEOSCOPE UGM pada tahun 2020. Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut terkait Tugas Akhir dapat menghubungi penulsi melalui alamat e-mail [dikisetiawanofficial@gmail.com](mailto:dikisetiawanofficial@gmail.com).