



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF141501

**ZONASI DAN PEMETAAN SUNGAI BAWAH
PERMUKAAN BERDASARKAN ANALISIS DATA
MIKROTREMOR DENGAN METODE *HORIZONTAL TO
VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSr)*, *PARTICLE
MOTION*, DAN *TIME FREQUENCY ANALYSIS*
KAWASAN KARST DERSONO, PACITAN**

MAULANA IBNU UMAR SAIF ABDULLAH
NRP 3714100039

Dosen Pembimbing
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.
NIP. 19690906 199702 1001

M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T.
NIP. 19800916 200912 1002

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF141501

**ZONASI DAN PEMETAAN SUNGAI BAWAH
PERMUKAAN BERDASARKAN ANALISIS DATA
MIKROTREMOR DENGAN METODE *HORIZONTAL TO
VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSr)*, *PARTICLE
MOTION*, DAN *TIME FREQUENCY ANALYSIS*
KAWASAN KARST DERSONO, PACITAN**

MAULANA IBNU UMAR SAIF ABDULLAH
NRP. 3714100039

Dosen Pembimbing
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.
NIP. 19690906 199702 1001

M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T.
NIP. 19800916 200912 1002

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

UNDERGRADUATE THESIS - RF141501

**ZONATION AND UNDERGROUND RIVER MAPPING
BASED ON MICROTREMOR DATA ANALYSIS WITH
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO
(HVSr), PARTICLE MOTION, AND TIME FREQUENCY
ANALYSIS METHOD IN KARST REGION DERSONO,
PACITAN**

MAULANA IBNU UMAR SAIF ABDULLAH
NRP. 3714100039

Supervisors

Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T
NIP. 19690906 199702 1001

M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T
NIP. 19800916 200912 1002

DEPARTEMENT OF GEOPHYSICAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environment, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

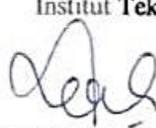
**ZONASI DAN PEMETAAN SUNGAI BAWAH
PERMUKAAN BERDASARKAN ANALISIS DATA
MIKROTREMOR DENGAN METODE *HORIZONTAL TO
VERTICAL SPECTRAL RATIO* (HVS_R), *PARTICLE
MOTION*, DAN *TIME FREQUENCY ANALYSIS* KAWASAN
KARST DERSONO, PACITAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

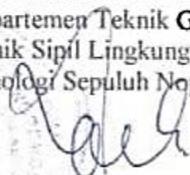
Surabaya, 25 Juli 2018

 Menyetujui,

1. Dr. Aji Syaeful Bahri, S.Si., M.T. (Pembimbing I)
NIP. 1969 0906 199702 1 001
2. Moh. Singgih Purwanto, S.Si., M.T. (Pembimbing II)
NIP. 1980 0916 200912 1 002
3. Dr. Widya Utama, DEA (Penguji I)
NIP. 1961 1024 198803 1 001
4. Juan Pachen G. N. R., S.Si., M.T. (Penguji II)
NIP. 1989 0612 201504 1 003

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Geofisika Eksplorasi
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya


Dr. Aji Syaeful Bahri, S.Si., M.T.
NIP. 1969 0906 199702 1 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Zonasi dan Pemetaan Sungai Bawah Permukaan Berdasarkan Analisis Data Mikrotremor Dengan Metode *Horizontal To Vertical Spectral Ratio (HVSR)*, *Particle Motion*, dan *Time Frequency Analysis Kawasan Karst Dersono, Pacitan***” adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan 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, 25 Juli 2018

Maulana Ibnu Umar Saif Abdullah

NRP. 3714100039

Halaman ini sengaja dikosongkan

ZONASI DAN PEMETAAN SUNGAI BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN ANALISIS DATA MIKROTREMOR DENGAN METODE *HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSUR)*, *PARTICLE MOTION*, DAN *TIME FREQUENCY ANALYSIS* KAWASAN KARST DERSONO, PACITAN

Nama Mahasiswa : Maulana Ibnu Umar S.A.
NRP Mahasiswa : 3714100039
Departemen : Teknik Geofisika
Dosen Pembimbing : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.
M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T.

ABSTRAK

Kawasan karst Dersono, Pacitan merupakan daerah dengan bentang alam yang khas. Hal ini dapat dilihat dari terdapatnya gua atau luweng di beberapa lokasi. Keberadaan luweng-luweng ini dapat mengindikasikan adanya gua yang saling terhubung sehingga membentuk suatu sistem sungai bawah permukaan di lokasi tersebut. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk penelitian sungai bawah permukaan di kawasan karst adalah metode mikrotremor. Respons data mikrotremor dalam penelitian ini digunakan sebagai dasar zonasi dan pemetaan aliran sungai bawah permukaan kawasan karst di Dersono, Pacitan. Respons data mikrotremor tersebut diolah menggunakan tiga metode yaitu *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSUR)*, *Particle Motion*, dan *Time Frequency Analysis*. Berdasarkan analisis nilai frekuensi dominan (f_0), terdapat dua zona karakter yaitu zona I yang bernilai rendah dengan rentang nilai dibawah 15 Hz dan zona II yang bernilai tinggi dengan rentang nilai diatas 15 Hz, berdasarkan analisis *particle motion* pada lokasi I dan II menunjukkan karakter pola aliran sungai yang memiliki orientasi arah Timur Laut-Barat Daya, dan berdasarkan analisis *Time Frequency Analysis (TFA)* terdapat kontinuitas amplitudo di daerah yang dialiri sungai dengan nilai rentang frekuensi 4-5 Hz dan amplitudo 2000 dB – 20000 dB pada komponen Z (Vertikal). Hasil analisa dan referensi penelitian menunjukkan bahwa arah sungai bawah permukaan pada lokasi penelitian dikontrol oleh Sesar Klanden dan Sesar Barong yang berada di sebelah timur daerah penelitian.

Kata kunci : *Karst*, luweng, mikrotremor, sungai bawah permukaan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ZONATION AND UNDERGROUND RIVER MAPPING
BASED ON MICROTREMOR DATA ANALYSIS WITH
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR),
PARTICLE MOTION, AND TIME FREQUENCY ANALYSIS
METHOD IN KARST REGION DERSONO, PACITAN**

Name : Maulana Ibnu Umar S.A.
NRP : 3714100039
Department : Geophysical Engineering
Supervisor : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.
M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T.

ABSTRACT

Karst region in Dersono, Pacitan is an area with a unique landscape. This can be seen from the existence of cave or luweng in some locations. The existence of these luweng can indicate the existence of an interconnected cave to form an underground river system in that location. One of the geophysical methods that can be used for subsurface research in the karst region is the microtremor method. The microtremor data response in this research is used as the basis of zoning and mapping the underground river flow of karst region in Dersono Village, Pringkuku, Pacitan. Microtremor data response is processed using three methods, namely Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR), Particle Motion, and Time Frequency Analysis. Based on the analysis of dominant frequency values (f_0), there are two character zones of low value zones with values ranges below 15 Hz and high value zones with a range of values above 15 Hz, based on the analysis of particle motion at locations I and II showing the pattern character river flow oriented to the Northeast-Southwest direction, and based on Time Frequency Analysis (TFA) there is continuity of amplitude in the river area with a frequency range of 4-5 Hz and an amplitude of 2000 dB - 20000 dB in component Z (Vertical). The results of the analysis and reference of the research indicate that the direction of underground river at the research location is controlled by Sesar Klanden and Sesar Barong located in east of research area.

Keywords : Karst, luweng, microtremor, underground river.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan hidayah-Nya laporan tugas akhir yang berjudul “Analisis Data Mikrotremor dengan *Metode Horizontal to Vertical Spectral Rasio (HVSAR), Particle Motion*, dan *Time Frequency Anaysis* untuk Zonasi dan Pemetaan Sungai Bawah Permukaan di Kawasan Karst Desa Dersono, Kecamatan Pringkuku, Kabupaten Pacitan” dapat terselesaikan dengan baik.

Selama menyelesaikan penyusunan skripsi ini, telah banyak bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang turut membantu, khususnya:

1. Bapak, ibu, adek dan keluarga untuk kasih sayang, doa, dan dukungan selama perkuliahan sampai penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T. dan Bapak M. Singgih Purwanto, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Tim TA Pacitan yang telah berkerja sama dan memberi dukungan demi terselesaikannya tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak membantu selama menjalankan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
5. Seluruh teman-teman TG03 atas semangat dan dukungannya selama perkuliahan sampai penyelesaian tugas akhir ini.
6. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penititan tugas akhir ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk pengembangan di masa yang akan datang. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 25 Juli 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Referensi Penelitian Terdahulu	3
2.2 Studi Regional Pacitan	3
2.3 Mikrotremor	7
2.4 Metode HVSR	8
2.5 Frekuensi Predominan.....	8
2.6 <i>Particle Motion</i>	9
2.7 <i>Time Frequency Analysis</i>	10
BAB III METODOLOGI	13
3.1 Lokasi Penelitian	13
3.2 Peralatan Penelitian	14
3.3 Desain Akuisisi	14
3.4 Diagram Alur Penelitian.....	16
3.5 Rencana Kegiatan Penelitian.....	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Analisa Hasil Pengolahan HVSR	19
4.2 Analisa Hasil Pengolahan <i>Particle Motion</i>	24
4.3 Analisa Hasil Pengolahan TFA	30
4.4 Integrasi Hasil Analisa	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN	47

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fisiografi bagian tengah dan timur Pulau Jawa	4
Gambar 2.2 Tatanan Stratigrafi Pegunungan Selatan (Surono, 1992)	5
Gambar 2.3 Peta Geologi Pringkuku, Pacitan (Aliyan, 2018)	7
Gambar 3.1 Peta Indeks Lokasi Penelitian	13
Gambar 3.2 Desain Akuisisi Lokasi 1	14
Gambar 3.3 Desain Akuisisi Lokasi 2	15
Gambar 4.1 Peta persebaran frekuensi domian di lokasi 1	21
Gambar 4.2 Peta persebaran frekuensi dominan di lokasi 2	21
Gambar 4.3 Hasil <i>overlay</i> frekuensi domian di lokasi 1	22
Gambar 4.4 Hasil <i>overlay</i> persebaran frekuensi dominan di lokasi 2	23
Gambar 4.5 Resultan <i>particle motion</i> pada titik MT-2	25
Gambar 4.6 Resultan <i>particle motion</i> pada titik MAL	25
Gambar 4.7 Resultan <i>particle motion</i> pada titik MT-6	26
Gambar 4.8 Resultan <i>particle motion</i> pada 9 titik pengukuran selain titik kalibrasi di lokasi 1	27
Gambar 4.9 Resultan <i>particle motion</i> pada titik pengukuran di lokasi 2	28
Gambar 4.10 Perkiraan arah aliran sungai bawah permukaan berdasarkan resultan <i>particle motion</i> di lokasi 1	29
Gambar 4.11 Perkiraan arah aliran sungai bawah permukaan berdasarkan resultan <i>particle motion</i> di lokasi 2	29
Gambar 4.12 Hasil TFA pada M10	31
Gambar 4.13 Hasil TFA pada M14	32
Gambar 4.14 Hasil TFA pada M20	34
Gambar 4.15 Peta zonasi berdasarkan F_0 pada lokasi 1	36
Gambar 4.16 Peta zonasi berdasarkan F_0 pada lokasi 2	36
Gambar 4.17 Plotting lintasan resistivitas terhadap lokasi penelitian 1	37
Gambar 4.18 Hasil pengukuran resistivitas 2D lintasan 1 pada lokasi 1	38
Gambar 4.19 Hasil pengukuran resistivitas 2D lintasan 3 pada lokasi 1	38
Gambar 4.20 Plotting lintasan resistivitas terhadap lokasi penelitian 2	39
Gambar 4.21 Hasil pengukuran resistivitas 2D pada lokasi 2	39
Gambar 4.22 Peta geologi Pringkuku	40

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Frekuensi Predominan	9
Tabel 3.1 Rencana Kegiatan Penelitian	18
Tabel 4.1 Nilai frekuensi dominan(f_0) pada lokasi pengukuran 1.....	19
Tabel 4.2 Nilai frekuensi dominan(f_0) pada lokasi pengukuran 2	20

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kawasan karst Pacitan merupakan daerah yang memiliki bentang alam yang khas. Hal ini menjadikan lokasi tersebut menarik untuk dijadikan objek penelitian. Salah satu lokasi yang menarik untuk diteliti di kawasan karst Pacitan adalah Desa Dersono, Pringkuku. Desa Dersono merupakan salah satu desa yang sering dilanda kekeringan di Pacitan. Satu-satunya sumber air yang digunakan warga untuk kebutuhan sehari-hari adalah sumber air yang muncul di pinggir sungai Maron yang berada di bagian barat desa. Berdasarkan hasil survei lapangan yang telah dilakukan, ditemukan gua atau luweng yang tersebar di beberapa lokasi di desa Dersono. Hal ini dapat mengindikasikan adanya aliran sungai bawah permukaan yang saling terhubung diantara luweng-luweng tersebut. Oleh karena itu, penelitian mendalam perlu dilakukan sehingga diharapkan dapat diketahui adanya potensi sumber air dari sungai bawah permukaan di desa Dersono, Pacitan. 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 tanah yang baik. Oleh karena itu kajian dan penelitian dalam hal identifikasi dan pemetaan jalur sungai bawah menjadi sesuatu yang penting.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan penerapan salah satu ilmu geofisika, yaitu mikrotremor. Metode ini diterapkan 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. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh (Bahri dkk., 2018) di Desa Sekar, Pacitan pada tahun sebelumnya. Hasil dari penelitian terdahulu inilah yang menjadi parameter pengontrol zonasi dan pemetaan arah aliran sungai bawah permukaan dalam penelitian ini.

Pada penelitian ini data mikrotremor yang dihasilkan akan diolah menggunakan tiga metode yaitu metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr), *Particle Motion*, dan *Time Frequency Analysis*. Pada penelitian ini metode HVSr digunakan untuk zonasi kawasan karst di lokasi penelitian. Sedangkan metode *Particle Motion* digunakan untuk mendeteksi sumber getar kontinyu di daerah tersebut yang nantinya diinterpretasikan sebagai sungai bawah permukaan. Selanjutnya, *Time Frequency Analysis* digunakan untuk menganalisa frekuensi yang terekam selama waktu pengukuran sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakter sungai bawah permukaan di lokasi penelitian.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang terdapat dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana persebaran nilai frekuensi dominan yang menjadi dasar zonasi di lokasi penelitian ?
2. Bagaimana kemenerusan jalur aliran sungai bawah permukaan serta sistem pengontrolnya berdasarkan interpretasi hasil pengolahan data mikrotremor?
3. Bagaimana karakter khas sungai bawah permukaan di kawasan karst Desa Dersono, Pringkuku, Pacitan berdasarkan *Time Frequency Analysis* ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Penelitian ini dilakukan dengan target lokasi di Desa Dersono, Kecamatan Pringkuku, Kabupaten Pacitan.
2. Metode yang akan digunakan dalam metode ini adalah metode Mikrotremor, Pengolahan data mikrotremor ini nantinya akan dilakukan dalam tiga metode yaitu *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSZ)*, *Particle Motion*, dan *Time Frequency Analysis*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Menganalisa persebaran nilai frekuensi dominan yang menjadi dasar zonasi di lokasi penelitian.
2. Melakukan pemetaan jalur aliran sungai bawah permukaan serta sistem pengontrolnya berdasarkan interpretasi hasil pengolahan data mikrotremor.
3. Mengidentifikasi karakter khas sungai bawah permukaan di kawasan karst Desa Dersono, Pringkuku, Pacitan berdasarkan *Time Frequency Analysis*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dapat digunakan sebagai dasar zonasi dan pemetaan sungai bawah permukaan kawasan karst Dersono, Pacitan.
2. Sebagai langkah awal pengembangan kawasan karst Pacitan yang berkelanjutan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang dijadikan referensi adalah penelitian yang dilakukan oleh (Bahri 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 amplitude 2.000 -10.000 dB pada rentang frekuensi 4-5 Hz (Bahri dkk., 2018).

2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Desa Dersono, Pringkuku, Pacitan. Secara geologi, daerah Pacitan merupakan kawasan karst (kapur) yang masuk dalam kompleks Pegunungan Seribu atau Gunung Sewu (Lehmann, 1939).

2.2.1 Fisiografi Regional

Daerah penelitian yang termasuk dalam kawasan karst Pacitan menurut peta fisiografi (van Bemmelen, 1949) masuk dalam zona pegunungan selatan sebagaimana terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Fisiografi bagian tengah dan timur Pulau Jawa (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 2.1, 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. 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 tanah. Daerah penelitian termasuk dalam subzona ini dengan yang

menargetkan sungai bawah tanah yang diindikasikan dengan keberadaan luweng/gua vertikal (van Bemmelen, 1949).

2.2.2 Stratigrafi

Stratigrafi daerah penelitian termasuk dalam pegunungan selatan. Susunan litostratigrafi pegunungan selatan menurut (Surono dkk., 1992) dari tua ke muda sebagaimana tampak pada gambar 2.2 adalah formasi Wungkal Gamping, Kebo Butak, Semilir, Nglanggran, Sambipitu, Oyo, Wonosari, dan Kepek.

KALA		ZONASI BLOW (1969)	SURONO, dkk. (1992)
HOLOSEN		N.23	
PLISTOSEN		N.22	
		N.21	
PLIOSEN		N.20	
		N.19	
		N.18	
MIOSEN	AKHIR	N.17	
		N.16	
		N.15	Kepek
	TENGAH	N.14	
		N.13	Wonosari
		N.12	
		N.11	Oyo
	AWAL	N.10	
		N.9	Sambipitu
		N.8	
OLIGOSEN	AKHIR	N.7	Nglanggran
		N.6	Semilir
		N.5	
	AWAL	N.4	
		N.3 (P.22)	Kebo Butak
		N.2 (P.21)	
		N.1 (P.20)	
Eosen	AKHIR	P.19	
		P.18	
	TENGAH	P.16	
		P.15	
		P.14	Wungkal Gamping
		P.13	

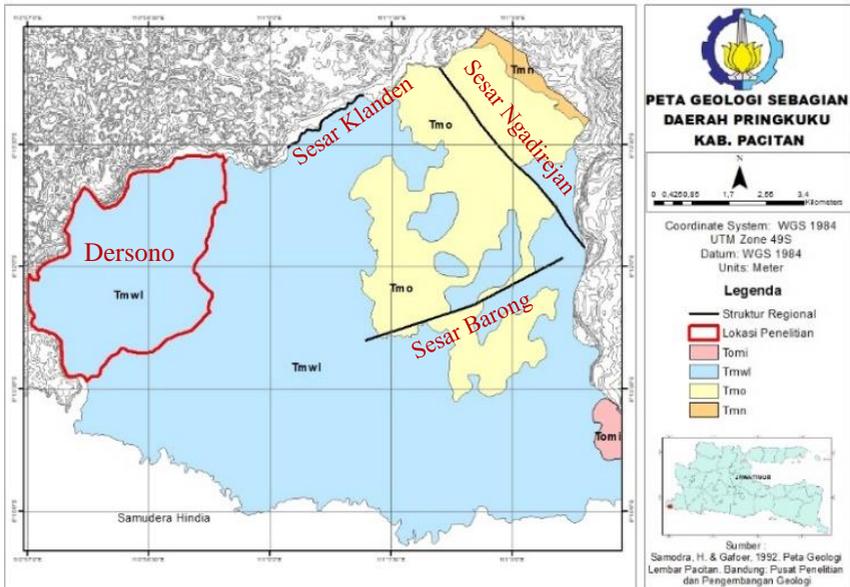
Gambar 2.2 Tatanan Stratigrafi Pegunungan Selatan (Surono, 1992)

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa pegunungan selatan memiliki umur batuan yang berkisar dari Eosen Tengah hingga Miosen Akhir. Daerah penelitian yang berada di desa Dersono, Pingkuku, Pacitan termasuk kedalam formasi wonosari. Formasi ini membentuk morfologi karst, terdiri dari batu gamping terumbu, batu gamping bioklastik berlapis dan napal. Satuan batuan ini merupakan endapan karbonat paparan (*carbonate platform*). Seperti yang ditampilkan pada gambar 2.2, formasi ini memiliki *range* umur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir. Formasi ini oleh (Surono dkk., 1992) dijadikan satu

dengan Formasi Punung yang terletak di Pegunungan Selatan bagian timur karena di lapangan keduanya sulit untuk dipisahkan, sehingga namanya Formasi Wonosari-Punung. Ketebalan formasi ini diduga lebih dari 800 meter. Kedudukan stratigrafinya di bagian bawah menjemari dengan Formasi Oyo, sedangkan di bagian atas menjemari dengan Formasi Kepek. Formasi ini didominasi oleh batuan karbonat yang terdiri dari batugamping berlapis dan batugamping terumbu. Sedangkan sebagai sisipan adalah napal. Sisipan tuf hanya terdapat di bagian timur. Lingkungan pengendapannya adalah laut dangkal (zona neritik) yang mendangkal ke arah selatan. Hal ini sesuai dengan pengamatan di lapangan pada daerah penelitian di Desa Dersono yang batuan utamanya terdiri dari batu gamping terumbu (Surono dkk., 1992).

2.2.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian

Struktur geologi kawasan karst pada umumnya dipengaruhi oleh proses pelarutan batuan atau karstifikasi yang menyebabkan kawasan karst memiliki struktur bawah permukaan yang khas. Namun, aktivitas tektonik lain seperti pergerakan sesar juga tidak dapat diabaikan sebagai salah satu faktor yang menentukan perkembangan struktur geologi suatu daerah. Hal ini sesuai dengan penelitian (Aliyan, 2018) yang menyebutkan bahwa struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian secara mekanik dipengaruhi oleh tiga sesar besar yang terletak di sebelah timur daerah penelitian. Berikut adalah peta geologi yang telah disertai plotting daerah penelitian serta posisi ketiga sesar tersebut.



Gambar 2.3 Peta Geologi Pringkuku, Pacitan (Aliyan, 2018)

Gambar 2.3 diatas merupakan peta geologi Pringkuku yang menunjukkan posisi lokasi penelitian yang terletak di Desa Dersono terhadap keberadaan tiga sesar besar yang terletak di sebelah timur daerah penelitian. Ketiga sesar tersebut adalah Sesar Ngadirejan, Sesar Barong dan Sesar Klanden. Sesar Ngadirejan merupakan sesar mendatar berarah barat laut–tenggara. Sesar ini ditentukan berdasarkan analisis kelurusan sungai intermitten di sekitar desa Ngadirejan. Di beberapa sungai intermitten sekitar ditemukan kekar gerus yang memiliki permukaan rata dengan pola yang tidak teratur. Sesar ini memotong satuan batu gamping klastik di bagian timur laut daerah penelitian. Penamaan sesar ini digunakan nama lokasi geografi yang dilalui jalur sesar yaitu daerah desa Ngadirejan, sehingga demikian sesar mendatar ini dapat disebut sebagai “Sesar Ngadirejan”(Aliyan, 2018).

Sesar Barong merupakan sesar mendatar berarah timur laut – barat daya. Sesar ini ditentukan berdasarkan data kelurusan Kali Barong serta pergeseran topografi di sekitar Kali Barong. Selain itu, juga ditemukan kekar-kekar di beberapa lokasi sepanjang sungai Barong yang memiliki permukaan rata dengan pola yang tidak teratur dan ditemukan indikasi berupa air terjun di Kali Barong. Sesar ini memotong satuan batu gamping terumbu di bagian timur hingga ke tengah daerah penelitian. Penamaan sesar ini digunakan nama lokasi geografi

yang dilalui jalur sesar yaitu daerah Kali Barong, sehingga demikian sesar mendarat ini dapat disebut sebagai “Sesar Barong”(Aliyan, 2018).

Sesar Klanden ditentukan berdasarkan data kelurusan Kali Klanden serta pergeseran topografi dari citra DEM di daerah Sugihwaras. Di sepanjang Kali Klanden ditemukan kekar-kekar yang memotong dengan ukuran yang cukup panjang, melebar dan memiliki pola tertentu yang sistematis (di S3 dan S4). Sesar ini memotong satuan batugamping terumbu di bagian barat laut daerah penelitian. Penamaan sesar ini digunakan nama lokasi geografi yang dilalui jalur sesar yaitu daerah Kali Klanden, sehingga demikian sesar normal ini dapat disebut sebagai “Sesar Klanden” (Aliyan, 2018).

2.3 Mikrotremor

Mikrotremor adalah vibrasi atau getaran tanah yang disebabkan oleh sumber alam seperti angin dan gelombang laut yang berperiode panjang atau gangguan buatan lainnya (Sitorus dkk., 2017). Getaran tersebut dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam ataupun buatan. Peristiwa buatan seperti gerak dari mesin kendaraan, industri, dan aktivitas manusia 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 pendek seperti gempa bumi dan ledakan (Seht dan Wohlenberg, 1999). Mikrotremor diterapkan untuk menentukan karakteristik dinamis (frekuensi dominan dan faktor amplifikasi) dari lapisan tanah yang dipelopori oleh Kanai dan Tanaka pada tahun 1954. Pengukuran mikrotremor sering dipraktikkan untuk mengamati karakteristik dinamika tanah yang dapat ditinjau dari penjalaran gelombang seismik. Beberapa parameter fisis yang dapat dilihat dari penjalaran gelombang tersebut adalah kecepatan gelombang seismik, variasi amplitudo, frekuensi serta periode gelombang. Mikrotremor yang disebabkan oleh gerakan bawah permukaan memiliki amplitudo antara 0,1 mikro – 1,0 mikro.

Berdasarkan periodanya mikrotremor diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu periode rentang pendek dan periode rentang panjang. Untuk mikrotremor dengan periode rentang pendek yaitu 0,1 detik sampai 1,6 detik biasanya disebabkan oleh peristiwa buatan, sedangkan mikrotremor dengan periode rentang panjang yaitu 1,6 detik sampai 2 detik atau lebih terjadi karena peristiwa alam. Gelombang alam dari mikrotremor berbeda-beda, tergantung dari kondisi wilayahnya (Syahrudin dkk., 2014).

2.4 Horizontal to Vertical Spectrum Ratio (HVSr)

Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) adalah metode yang didasarkan pada asumsi bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan (Nakamura, 1989). Metode

HVSR secara meluas diperkenalkan oleh Nakamura, sehingga metode ini juga dikenal dengan teknik Nakamura. HVSR dinilai sangat ekonomis dan efektif untuk mengkaji karakteristik dinamis lapisan tanah permukaan penyebab terjadinya local site effect saat gempa bumi. Energi mikrotremor sebagian besar bersumber dari gelombang Rayleigh, dan site effect amplification terjadi akibat keberadaan lapisan tanah lunak yang menempati setengah cekungan dari batuan dasar. Dalam kondisi ini ada empat komponen gerakan tanah yang terlibat, yaitu komponen gerakan horizontal dan vertikal di batuan dasar dan komponen gerak horizontal dan vertikal di permukaan (Fah dkk., 2001).

2.5 Frekuensi Predominan

Frekuensi Predominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut, dengan kata lain frekuensi dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut. (Arifin dkk., 2013) menyebutkan bahwa (Kanai dan Tanaka, 1954) melakukan uji simulasi dengan menggunakan 6 model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan tanah. Hasil simulasi menunjukkan nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi kondisi geologi. Berikut adalah klasifikasi jenis tanah berdasarkan frekuensi predominan mikrotremor seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan Mikrotremor (Kanai, dan Tanaka, 1954).

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi Tanah
Tipe	Jenis			
Tipe I	Jenis I	< 2,5	Batuan aluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. Dengan kedalaman 30 meter atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal
Tipe II				
Tipe III	Jenis I	2,5 - 4	Batuan aluvial dengan ketebalan sedimen > 5 meter. Terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10-30 meter
Tipe IV	Jenis I	4 - 10	Batuan aluvial dengan ketebalan sedimen 5 meter. Terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori menengah, sekitar 5-10 meter
	Jenis II	6,667 - 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy</i> , <i>gravel</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, dan didominasi oleh batuan keras.

Berdasarkan hasil uji simulasi tersebut dapat dipetakan klasifikasi karakteristik tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan sebagaimana terlihat pada tabel 2.1. Tabel tersebut mengidentifikasi jenis tanah dan ketebalan sedimen berdasarkan nilai frekuensi dominan dengan rentang nilai <2,5 Hz sampai 20 Hz. Nilai inilah yang menjadi dasar referensi utama dalam zonasi kawasan karst pada penelitian ini (Kanai dan Tanaka, 1954).

2.6 Particle motion

Proses menentukan arah gerak partikel (*particle motion*) gelombang gempa bertujuan untuk mengetahui kecenderungan arah gerak partikel dari ketiga komponen dari 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 dkk., 2013).

Aliran sungai merupakan sumber frekuensi alami yang artinya dapat memberikan getaran atau mempengaruhi 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 di 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 (Bahri dkk., 2018).

2.7 Time Frequency Analysis

Dalam pengolahan sinyal, *Time Frequency Analysis* (TFA) meninjau sinyal dalam domain waktu dan frekuensi. Daripada meninjau sinyal dalam tampilan satu dimensi dalam domain waktu atau dalam 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 seismik ditransformasikan ke dalam domain frekuensi dengan persamaan Fourier, akan diberikan seluruh informasi dari frekuensi yang terdapat di dalam sinyal tersebut. Dalam analisis spektrum sinyal, sinyal akan tersegmentasi menjadi jendela waktu yang kecil (*windowing*), hal ini dikarenakan sinyal seismik terdiri dari berbagai macam gelombang yang berasal dari banyak reflektor. Kemudian dengan mengubah segmen tersebut menjadi domain frekuensi, maka dapat diperoleh informasi mengenai frekuensi lokal dari sebuah sinyal di sepanjang waktu tersebut. Pendekatan seperti ini disebut dengan *Short Time Fourier Transform* (STFT) (Bahri 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 stasioner semakin baik yang berakibat rendahnya resolusi frekuensi, demikian juga sebaliknya. Untuk mengatasi keterbatasan hal tersebut, diperlukan suatu analisis multiresolusi dengan dimensi *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, 1994).

Peta pada gambar 3.1 menunjukkan lokasi penelitian yang berada di Desa Dersono, Kecamatan Pringkuku, Kabupaten Pacitan. Lokasi penelitian ini berjarak 226 km dari Kota Surabaya dan termasuk dalam kawasan karst Pacitan yang terletak di bagian selatan Pulau Jawa.

3.2 Peralatan Penelitian

Pada penelitian ini digunakan beberapa peralatan antara lain sebagai berikut :

1. Mikrotremor MAE
2. GPS
3. Laptop

Selain peralatan diatas, dalam penelitian ini juga digunakan beberapa software pendukung antara lain :

1. Easy HVSR
2. Geopsy
3. Surfer
4. Google Earth
5. Microsoft Excel

3.3 Desain Akuisisi

Lokasi pengambilan data pada penelitian ini dibagi dalam dua lokasi. Berikut adalah desain akuisisi pada lokasi 1 dan lokasi 2.



Gambar 3.2 Desain Akuisisi Lokasi 1

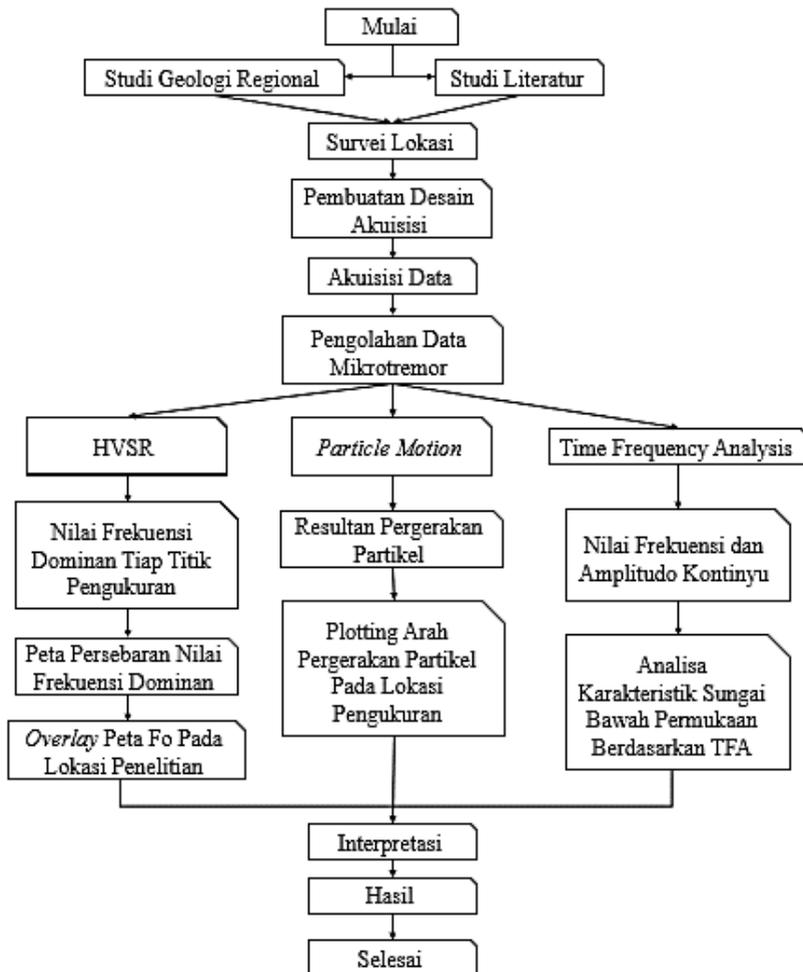
Pada lokasi 1 pengukuran dilakukan pada daerah sekitar luweng Tanggung sampai sumber air yang terletak didekat sungai Maron. Lokasi luweng Tanggung berada pada titik MT-2 yang terletak pada koordinat 496031.7 E 9093542.4 N. Sedangkan posisi sumber air berada pada MT-6 yang terletak pada koordinat 495716.5 E 9093591.5 N.



Gambar 3.3 Desain Akuisisi Lokasi 2

Pada lokasi 2, pengukuran dilakukan pada daerah diantara luweng SD hingga luweng Jomblang. Lokasi luweng SD berada pada titik M-1 yang terletak pada koordinat 497650.2 E 9093057.3 N. Sedangkan lokasi luweng Jomblang berada pada titik M-14 yang terletak pada koordinat 496631.4 E 9092369.3 N. Penelitian ini dilakukan pada 36 titik pengukuran dengan jarak antar titik pengukuran ± 100 m. Pengukuran ini dilakukan selama 7 hari dengan waktu pengukuran di tiap titik selama 30 menit.

3.4 Diagram Alur Penelitian



Penjelasan diagram alir adalah sebagai berikut :

1. Dilakukan studi awal berupa studi geologi regional yang meliputi geologi kawasan karst Pacitan, stratigrafi regional Pacitan, dan struktur geologi daerah penelitian serta dilakukan studi literatur yang meliputi pengumpulan paper atau jurnal mengenai penggunaan metode mikrotremor di daerah karst dan penelitian terdahulu yang telah dilakukan. Studi awal ini

- merupakan referensi utama yang nantinya menjadi dasar dilakukannya survei lokasi penelitian.
2. Survei lokasi dilakukan dengan tujuan untuk memvalidasi hasil studi awal yang telah dilakukan dengan melakukan survei langsung di lokasi penelitian yang telah direncanakan. Selain itu, pada survei lokasi juga dilakukan plotting titik luweng yang berada di desa Dersono, yaitu luweng tanggung, luweng SD, dan luweng jomblang. Hasil dari survei lokasi inilah yang nantinya menjadi dasar pembuatan desain akuisisi.
 3. Setelah diketahui koordinat luweng-luweng tersebut dan juga orientasi medan daerah penelitian, dibuat desain akuisisi untuk pengukuran metode mikrotremor.
 4. Dilakukan akuisi data mikrotremor yang dilakukan dari pagi hari hingga sore hari selama 7 hari. Pengukuran dilakukan di 36 titik dengan durasi pengukuran pada tiap titik selama 30 menit
 5. Data yang telah diakuisisi kemudian diolah dengan metode HVSR, *Particle Motion*, dan *Time Frequency Analysis*.
 6. Pengolahan data dengan metode HVSR yang dilakukan dengan *software* Easy HVSR menghasilkan *output* berupa nilai frekuensi dominan di tiap titik. Nilai ini kemudian diolah dengan *software* Surfer untuk menghasilkan peta persebaran nilai frekuensi dominan pada lokasi penelitian.
 7. Data hasil akuisisi juga diolah menggunakan *software* Geopsy untuk dianalisa *particle motion* pada tiap titik. Pengolahan ini menghasilkan *output* berupa resultan pergerakan partikel yang nantinya menjadi dasar perkiraan arah sumber getar yang menjadi dasar interpretasi arah aliran sungai bawah permukaan.
 8. Pada *software* Geopsy juga dilakukan pengolahan *Time Frequency Analysis* (TFA) untuk menganalisa persebaran frekuensi dan amplitudo kontinyu selama pengukuran berlangsung. *Time Frequency Analysis* ini menghasilkan *output* berupa nilai frekuensi dengan amplitudo kontinyu pada tiap titik. Nilai ini yang menjadi dasar identifikasi karakter sungai bawah permukaan pada lokasi penelitian sekaligus menjadi validasi keberadaan sungai bawah permukaan berdasarkan karakter data hasil penelitian sebelumnya.
 9. Dilakukan interpretasi berdasarkan hasil masing – masing pengolahan untuk menentukan karakter mikrotremor di wilayah penelitian yang nantinya menjadi dasar zonasi dan pemetaan sungai bawah permukaan.

3.5 Jadwal Kegiatan Penelitian

Berikut adalah jadwal kegiatan dalam penelitian tugas akhir ini :

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian

Aktivitas	Februari				Maret				April				Mei				Juni	Output
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	
Studi literatur dan Geologi Regional																		Peta geologi, stratigrafi dan parameter nilai frekuensi
Survei Lokasi																		Orientasi medan dan koordinat target lokasi
Pembuatan Desain Akuisisi																		Desain akuisisi data
Akuisisi Data																		Data mikrotremor
Pengolahan Data																		Persebaran data, arah getaran, dan persebaran frekuensi.
Interpretasi Data																		Zonasi dan pemetaan sungai bawah permukaan
Penyusunan Laporan Tugas Akhir																		Laporan Tugas Akhir

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Hasil Pengolahan Metode HVSR

Pengolahan data dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) menghasilkan data berupa nilai frekuensi dominan yang nantinya menjadi sumber analisa ketebalan sedimen. Hasil pengukuran mikrotremor yang telah diolah menggunakan software *Easy HVSR* akan menghasilkan data frekuensi dominan di setiap titik pengukuran. Data frekuensi dominan ini dibagi kedalam dua bagian sesuai daerah penelitian yaitu hasil di lokasi pengukuran 1 di sekitar luweng tanggung dan hasil pengukuran lokasi 2 yang membentang dari luweng SD hingga luweng Jomblang. Berikut adalah tabel nilai frekuensi dominan yang didapatkan dari data yang diolah dari *Easy HVSR*.

Tabel 4.1 Nilai frekuensi dominan(f_0) pada lokasi 1

No	Nama Titik	Koordinat		Frekuensi Dominan (Hz)
		Easting	Northing	
1	MT-1	495741.05	9093729.71	23.6
2	MT-2	496031.73	9093542.41	17.75
3	MT-3	495939.93	9093588.47	12.35
4	MT-4	495857.32	9093656.02	12.35
5	MT-5	495780.83	9093708.22	17.45
6	MT-6	495716.59	9093591.52	18.65
7	MT-7	496031.73	9093447.22	19.1
8	MT-8	495930.77	9093474.85	18.2
9	MT-9	495894.06	9093431.85	19.1
10	MT-10	496031.74	9093447.22	12.8
11	MT-11	495624.81	9093490.17	15.2
12	MAL	496019.49	9093573.12	14.75

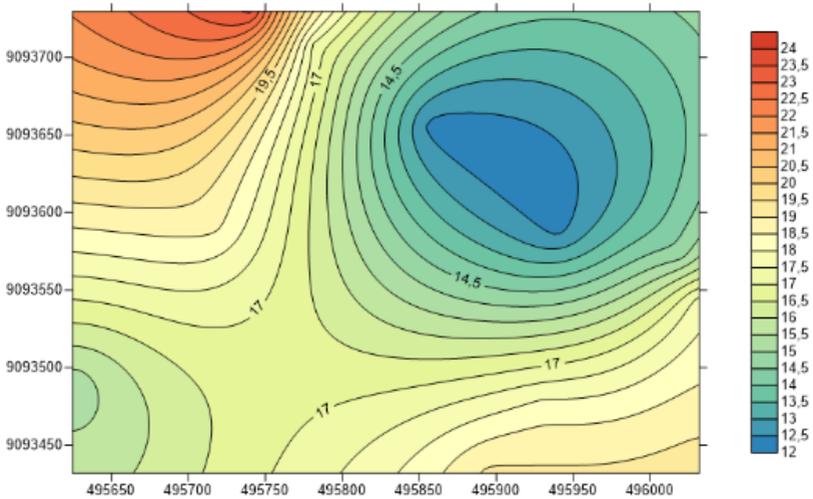
Tabel 4.2 Nilai frekuensi dominan(f_0) pada lokasi 2

No	Nama Titik	Koordinat		Frekuensi Dominan (Hz)
		Easting	Northing	
1	M1	497650.27	9093057.33	14.75
2	M5	497329.03	9092796.28	17.75
3	M7	497148.52	9092750.21	14.75
4	M9	497053.68	9092636.58	16.85
5	M10	496894.59	9092584.36	8.45
6	M11	496885.42	9092526.01	19.85
7	M13	496717.15	9092433.87	10.85
8	M14	496631.49	9092369.38	9.95
9	M15	497748.17	9093045.05	8.15
10	M16	497576.85	9092876.14	14.75
11	M17	497527.90	9092851.57	18.8
12	M19	497325.98	9092704.15	14.75
13	M20	497234.19	9092685.72	19.85
14	M21	497136.29	9092667.29	10.7
15	M22	497108.76	9092538.31	13.85
16	M23	496989.44	9092526.02	17.75
17	M24	496906.84	9092455.38	5.25
18	M27	496643.74	9092301.82	11
19	M28	497579.90	9093045.04	11.6
20	M29	497469.76	9093023.54	7.25
21	M33	497108.75	9092793.20	9
22	M38	496720.21	9092526.00	19.85
23	M39	496649.84	9092489.14	13.89
24	M40	496527.46	9092482.99	18.8

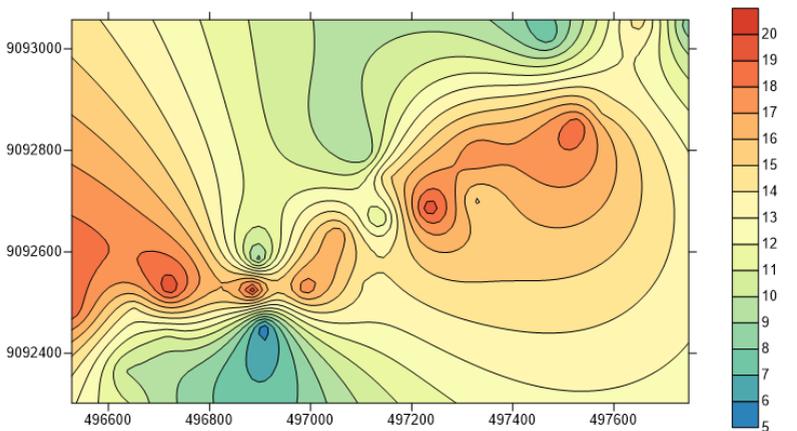
Semua nilai frekuensi dominan pada hasil penelitian ini telah sesuai dengan referensi klasifikasi nilai dominan yang telah didefinisikan oleh (Kanai dan Tanaka, 1954) kecuali untuk titik MT-1 yang memiliki nilai 23,6 Hz. Hal ini disebabkan lokasi tersebut berada diatas bebatuan yang sangat dekat dengan sungai Maron yang beraliran deras sehingga kerapatan getarannya sangat tinggi. Sehingga nilai frekuensi dominan yang dihasilkan pada titik ini berbeda dari

klasifikasi yang dibuat oleh (Kanai dan Tanaka, 1954) yang melakukan pengukuran dengan uji simulasi menggunakan model struktur geologi pada keadaan ideal.

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 di lokasi 1

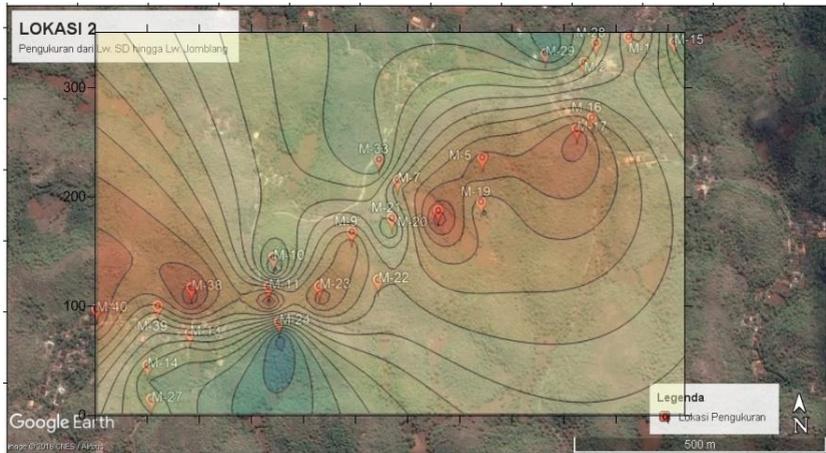


Gambar 4.2 Peta persebaran frekuensi dominan di lokasi 2

Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan nilai frekuensi dominan (f_0) dengan rentang dan karakteristik berbeda antara lokasi pengukuran 1 dan 2. Hal ini disebabkan adanya pengaruh ketebalan sedimen serta kondisi lingkungan yang berbeda dimana lokasi pengukuran 1 berada di dekat aliran sungai Maron yang memiliki arus cukup besar sedangkan lokasi pengukuran 2 relatif jauh dari sungai Maron. Oleh karena itu, pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa hasil pengukuran di lokasi 1 memiliki nilai frekuensi dominan yang relatif besar yaitu lebih dari 10 Hz. Sedangkan pada lokasi 2 nilai frekuensi dominan terbagi dalam dua rentang yaitu titik-titik pengukuran dengan nilai frekuensi dominan yang relatif rendah (<10 Hz) dan yang relatif tinggi (>10 Hz). Data tersebut kemudian menjadi input dalam pembuatan peta persebaran frekuensi dominan kemudian di *overlay* dengan peta lokasi pengukuran di Surfer sebagaimana gambar 4.3 dan 4.4 berikut ini.



Gambar 4.3 Hasil *overlay* frekuensi domian di lokasi 1



Gambar 4.4 Hasil *overlay* persebaran frekuensi dominan di lokasi 2

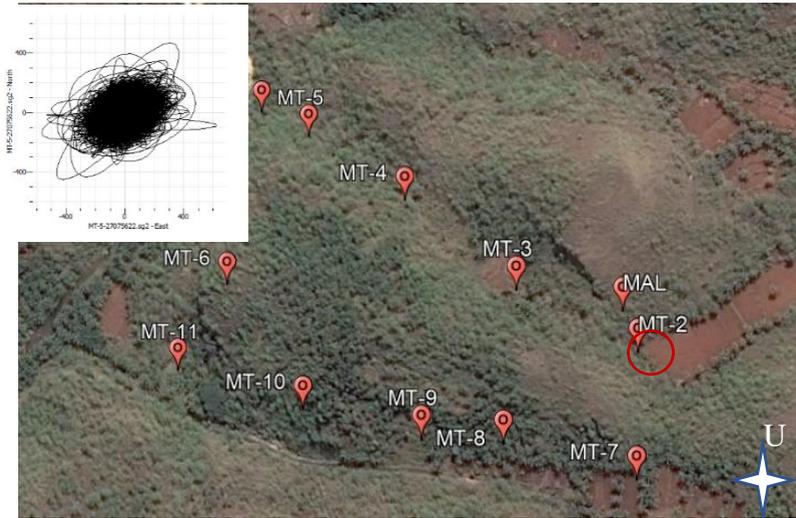
Gambar 4.3 dan 4.4 diatas menunjukkan bahwa penampang peta persebaran frekuensi dominan memiliki kemiripan pola dengan kondisi geologi daerah pengukuran namun dengan karakteristik yang berbeda. Hal ini disebabkan nilai frekuensi dominan (f_0) berkaitan dengan kondisi geologi lokasi pengukuran dimana ketebalan sedimen pada lokasi pengukuran secara langsung mempengaruhi nilai frekuensi dominan (f_0). Pada daerah dengan ketebalan sedimen yang cukup tebal maka akan memiliki nilai frekuensi dominan yang cenderung lebih rendah bila dibanding daerah sekitar yang memiliki ketebalan sedimen yang lebih tipis. Hal ini terlihat jelas pada gambar 4.4, dimana daerah lembah ditampilkan dengan warna hijau-biru yang menandakan nilai frekuensi dominan yang relatif rendah bila dibanding area yang berwarna merah. Pada area yang berwarna merah 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 dengan ketebalan sedimen yang tipis. Namun hal ini sekilas tampak berbeda bila dibandingkan dengan gambar 4.3 terutama pada bagian atas peta yang menunjukkan nilai frekuensi dominan relatif rendah pada area bukit dan nilai yang tinggi pada daerah lembahnya. Hal ini sangat dipengaruhi oleh lokasi pengambilan data mikrotremor yang dilakukan di daerah tersebut. Pada lokasi 1, pengukuran pada daerah bukit menunjukkan nilai yang relatif rendah karena pengambilan data dilakukan diantara dua bukit sehingga ketebalan sedimen di daerah tersebut cenderung lebih tebal bila dibandingkan daerah lain, namun karena tidak ada data lain lagi disebelah utara titik tersebut maka Surfer secara otomatis melakukan interpolasi dengan titik acuan data pada celah bukit tadi sebagai acuan sehingga dihasilkan penampang peta seperti pada

gambar 4.3. Sedangkan pada lembah di sebelah utara memiliki nilai frekuensi dominan yang relatif tinggi karena lembah tersebut merupakan daerah tebing berbatu yang berjarak sangat dekat dengan sudut belok sungai Maron yang memiliki arus sangat deras dititik tersebut. Hal ini meyebabkan getaran yang ditimbulkan pada titik tersebut rapat dan frekuensi dominannya tinggi. Namun hal ini berbanding terbalik dengan penampang pada gambar 4.3 bagian bawah yang menunjukkan tren yang hampir sama seperti pada lokasi 2 namun dengan nilai frekuensi yang relatif tinggi yang disebabkan jaraknya yang relatif dekat dengan Sungai Maron.

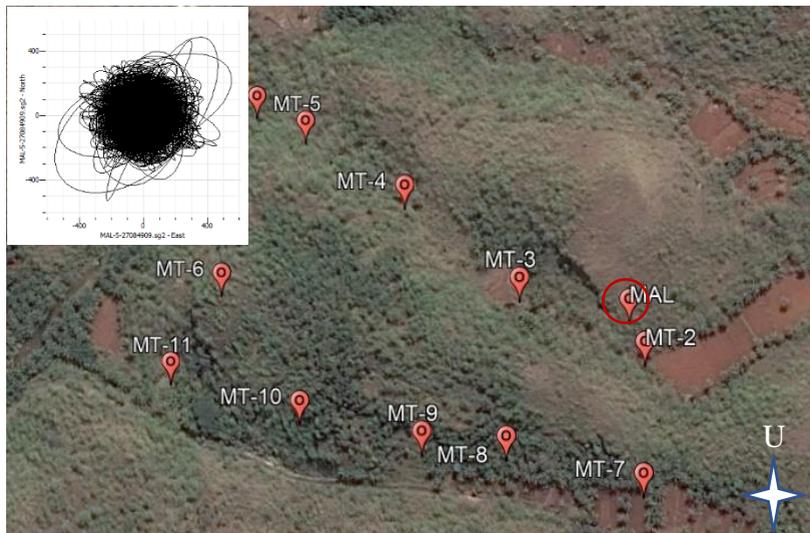
4.2 Analisa Hasil Pengolahan Data *Particle Motion*

Pengolahan data *particle motion* dilakukan untuk mengidentifikasi arah sumber getar pada daerah penelitian yang diindikasikan sebagai aliran sungai bawah permukaan. Hal ini sesuai dengan hipotesis awal bahwa aliran sungai merupakan sumber getar yang kontinyu sehingga *trend particle motion* dapat digunakan untuk memperkirakan arah aliran sungai bawah permukaan. Hal ini disebabkan 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 arah aliran sungai bawah permukaan di titik tersebut.

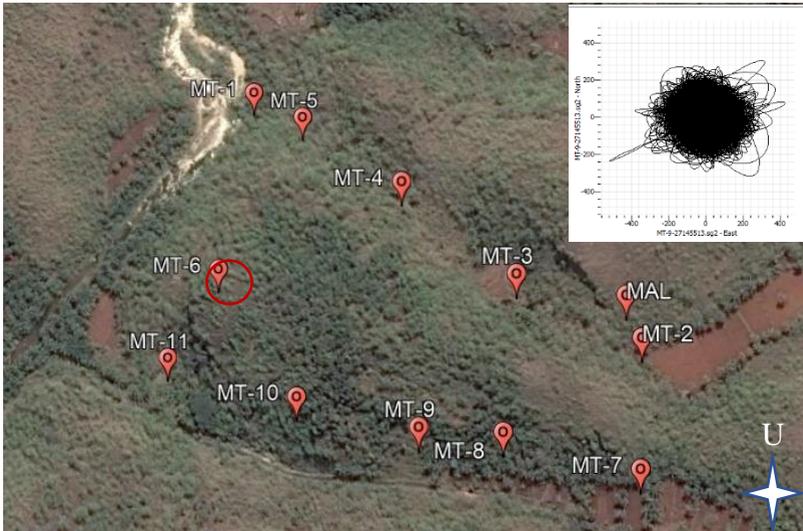
Pada pengolahan data *particle motion* di lokasi 1 terdapat tiga titik kalibrasi yang diambil saat penelitian yaitu titik MT-2 yang terletak tepat diatas luweng yang berada di ladang, MAL yang terletak diatas luweng namun pengukuran berada diatas bukit, dan MT-6 yang berada diatas luweng dan berdekatan dengan muka air tanah yang keluar dari luweng tersebut. Ketiga titik ini diambil sebagai acuan untuk masing-masing kondisi yang dialiri sungai bawah permukaan di bawah titik pengukurannya. Berikut adalah hasil pengolahan data *particle motion* di ketiga titik kalibrasi tersebut.



Gambar 4.5 Resultan *particle motion* pada titik MT-2



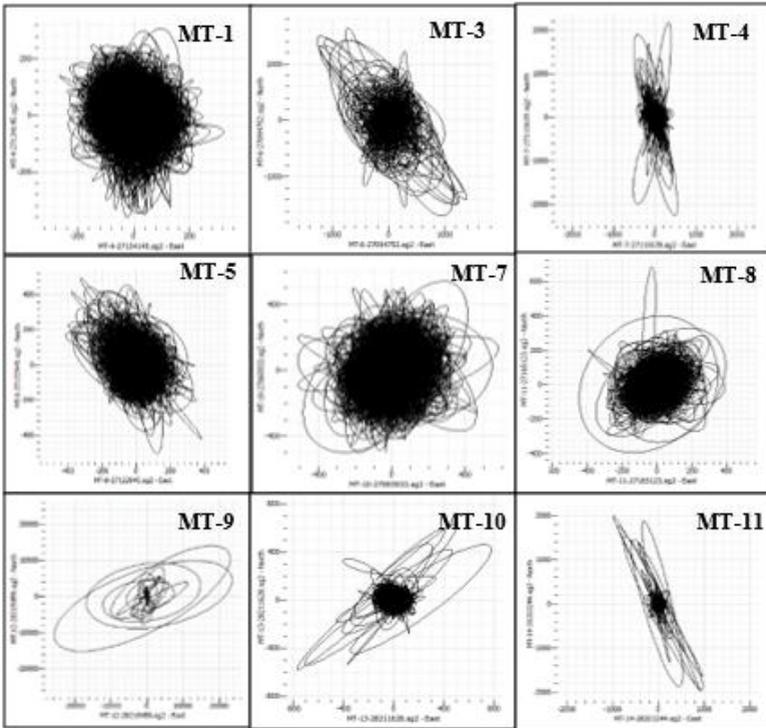
Gambar 4.6 Resultan *particle motion* pada titik MAL



Gambar 4.7 Resultan *particle motion* pada titik MT-6

Gambar 4.5, 4.6, dan 4.7 menunjukkan bahwa resultan *particle motion* diinterpretasikan dengan garis-garis hitam yang merupakan getaran yang muncul selama rentang waktu pengukuran saling menumpuk di tengah sehingga dapat dianalisis bahwa resultan arah pergerakan partikelnya terpusat. Hal ini disebabkan pada titik-titik kalibrasi tersebut sumber getaran yang berasal dari sungai bawah permukaan tepat berada dibawah titik pengukuran sehingga arah pergerakan partikelnya tidak memiliki arah dominan dan terpusat di titik tersebut.

Selain tiga titik kalibrasi diatas, pada lokasi 1 juga dilakukan pengukuran di sembilan titik lain disekitar lokasi luweng untuk memperkirakan arah aliran sungai bawah permukaan di lokasi tersebut. Berikut adalah hasil pengolahan *particle motion* di sembilan titik tersebut.

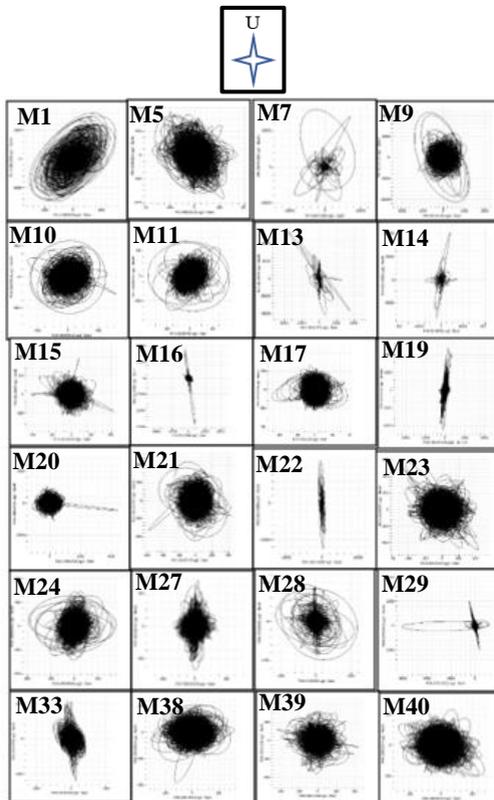


Gambar 4.8 Resultan *particle motion* pada 9 titik pengukuran selain titik kalibrasi di lokasi 1

Gambar 4.8 diatas menunjukkan adanya respon pergerakan partikel yang berbeda-beda untuk setiap titik. Hal ini mengindikasikan pengaruh dari adanya sungai bawah permukaan yang ada di lokasi penelitian 1. Sedangkan untuk titik-titik yang mempunyai tren *particle motion* yang terpusat memiliki dua kemungkinan yaitu titik tersebut berada tepat diatas aliran sungai bawah permukaan sehingga memiliki respon yang serupa seperti pada titik kalibrasi atau titik tersebut sama sekali tidak dilewati maupun berdekatan dengan aliran sungai bawah permukaan sehingga tidak terpengaruh oleh pergerakan partikel yang

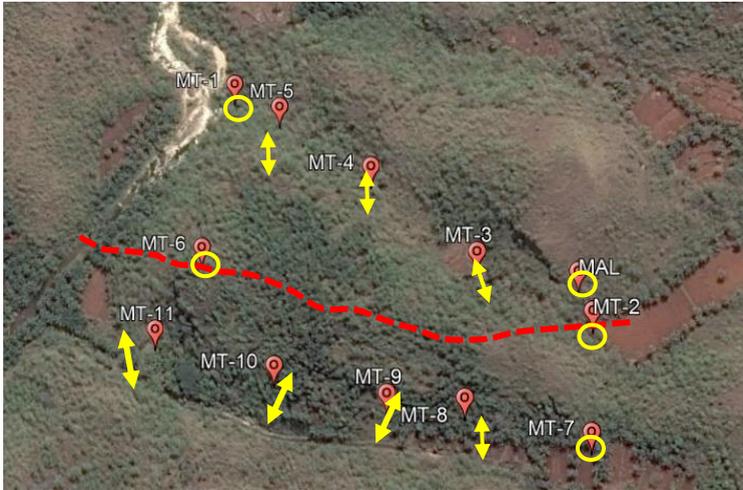
disebabkan oleh sungai bawah permukaan dan respon *particle motion* yang terekam murni dari gerak endogen bawah tanah titik tersebut sehingga respon pergerakan partikelnya terpusat.

Pengolahan *particle motion* di lokasi 2 memiliki perbedaan dengan pengolahan di lokasi 1. Hal ini disebabkan tidak adanya kepastian keberadaan sungai bawah permukaan di lokasi tersebut sehingga tidak dapat dilakukan pengukuran pada titik kalibrasi untuk sistem sungai bawah permukaan yang ada di lokasi 2. Namun karena lokasi penelitian 1 dan 2 relatif berdekatan (± 1 km) maka hasil kalibrasi *particle motion* di lokasi 1 masih bisa dianggap relevan karena bila terdapat sungai bawah permukaan di lokasi 2 akan cenderung memiliki kemiripan dengan sistem sungai bawah permukaan di lokasi 1. Berikut adalah resultan pergerakan partikel hasil pengolahan data di lokasi 2 secara berurutan.



Gambar 4.9 Resultan *particle motion* pada titik pengukuran di lokasi 2

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 di lokasi 1 dan 2.



Gambar 4.10 Perkiraan arah aliran sungai bawah permukaan berdasarkan resultan *particle motion* di lokasi 1.



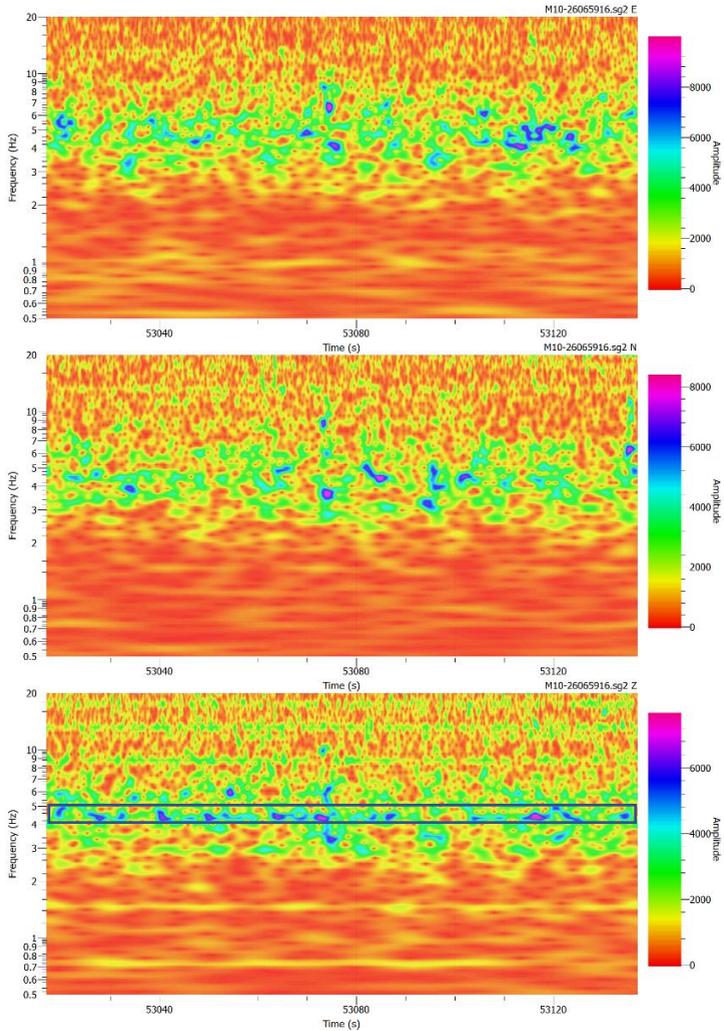
Gambar 4.11 Perkiraan arah aliran sungai bawah permukaan berdasarkan resultan *particle motion* di lokasi 2.

Gambar 4.10 menunjukkan korelasi antara resultan particle motion dengan arah aliran sungai bawah permukaan yang ada disekitarnya. Selain itu, pada gambar 4.8 dapat kita lihat bahwa titik MT-1 dan MT-7 memiliki arah resultan yang terpusat menyerupai respon yang ditampilkan pada titik kalibrasi disebabkan pada kedua titik tersebut memiliki letak yang relatif jauh dari sumber getar yang berasal dari sungai bawah permukaan sehingga pergerakan partikelnya tidak terpengaruh oleh aliran sungai bawah permukaan di lokasi tersebut. Hal ini didukung dengan korelasi titik-titik yang berada di sekitar MT-1 dan MT-7 yang menunjukkan resultan particle motion yang sejajar dengan kedua titik tersebut yang mengindikasikan tidak adanya sumber getar yang berasal dari MT-1 dan MT-7 yang melebihi sumber getar yang berasal dari sistem sungai bawah permukaan. Pada lokasi 1 arah aliran sungai bawah permukaan berasal dari MT-2 dan akhirnya muncul di MT-6 sebelum akhirnya bergabung dengan sungai Maron.

Prinsip yang sama seperti pada lokasi 1 juga diterapkan pada lokasi 2 sehingga menghasilkan pendugaan arah aliran sungai bawah permukaan seperti pada gambar 4.11. Arah aliran sungai bawah permukaan pada lokasi 2 memiliki arah yang relatif berbeda bila dibandingkan dengan lokasi 1. Bila pada lokasi 1 arah aliran cenderung memiliki arah Timur-Barat sedangkan pada lokasi 2, arah aliran cenderung memiliki arah Timur Laut-Barat Daya. Hal ini sesuai dengan arah patahan grindulu yang dianggap sebagai penyebab adanya zona lemah di daerah tersebut.

4.3 Time Frequency Analysis

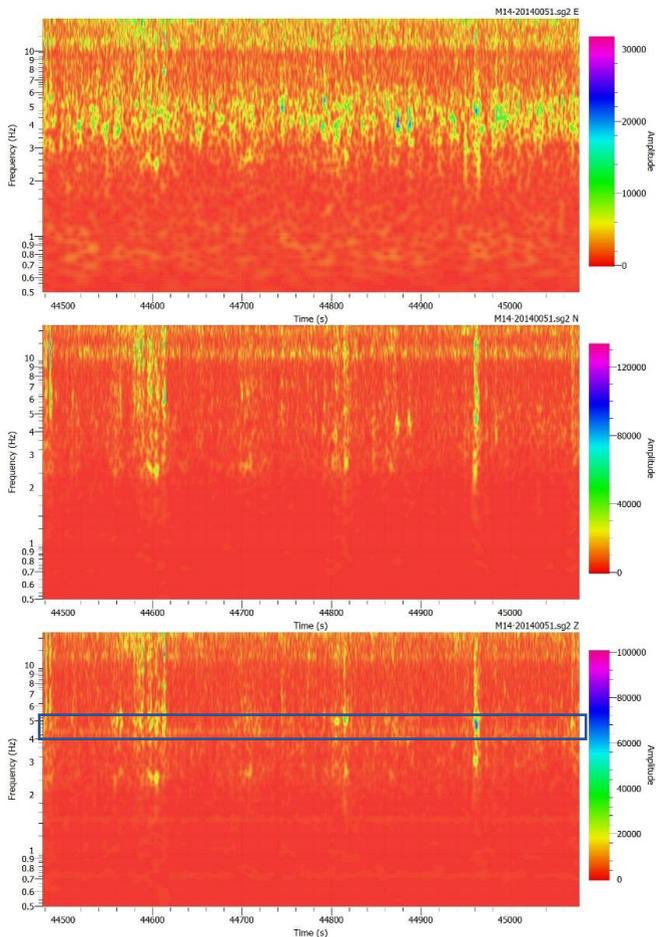
Proses *time frequency analysis* (TFA) dilakukan dengan *software* geopsy dengan melakukan analisa pada ketiga sinyal mikrotremor pada masing-masing titik pada range frekuensi sesuai dengan hasil pengolahan HVSR terhadap waktu. Berikut adalah hasil TFA pada beberapa titik yang mewakili lokasi penelitian.



Gambar 4.12 Hasil TFA pada M10

Hasil yang ditampilkan pada gambar 4.12 merupakan hasil pengolahan TFA pada titik pengukuran M10 yang terletak di daerah perbukitan pada lokasi penelitian. Titik ini dipilih menjadi kalibrasi hasil TFA pada daerah perbukitan karena berdasarkan analisa *particle motion* menunjukkan titik ini merupakan salah satu titik yang dilewati aliran sungai bawah permukaan. Hasil pengolahan

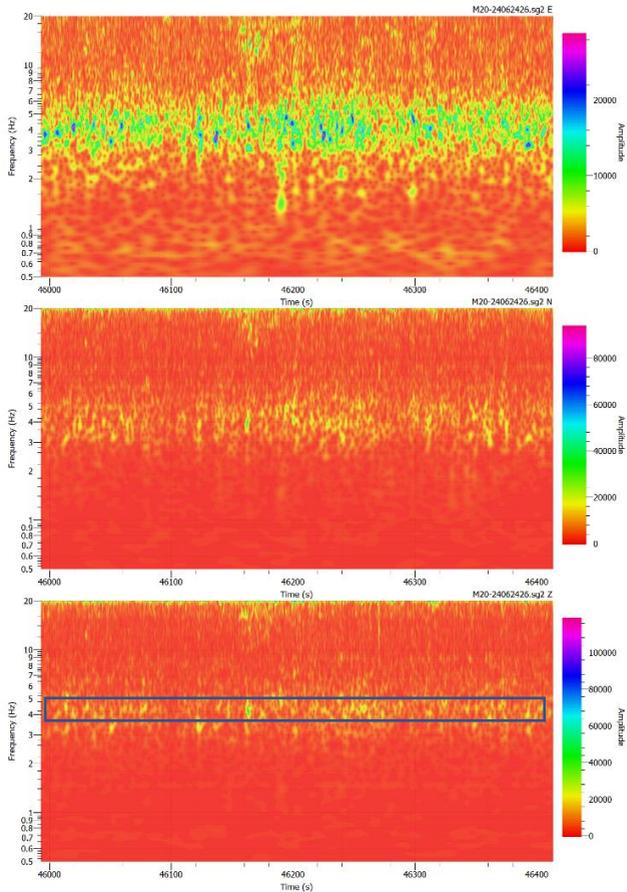
TFA pada M10 menunjukkan adanya nilai amplitudo kontinyu pada rentang frekuensi 4-5 Hz. Nilai ini kemudian menjadi validasi terdapatnya sungai bawah permukaan pada lokasi tersebut karena sesuai dengan karakteristik yang telah didefinisikan sebelumnya melalui penelitian (Bahri, 2018). Analisa yang sama juga diberlakukan pada titik M14 yang mewakili daerah ladang dan M20 yang mewakili lokasi penelitian diatas luweng.



Gambar 4.13 Hasil TFA pada M14

Berdasarkan hasil pengolahan TFA pada titik M14 menunjukkan adanya hasil amplitudo kontinyu pada rentang frekuensi yang sama dengan titik M10

yaitu pada rentang 4-5 Hz. Hal ini membuktikan bahwa sungai bawah permukaan pada lokasi penelitian memiliki nilai rentang frekuensi yang sama pada berbagai lokasi. Namun hasil berbeda justru terlihat pada nilai amplitudo kontinyu pada titik M14. Hal ini dapat diamati pada gambar 4.12 yang menggambarkan hasil pengolahan TFA pada M10 menunjukkan nilai amplitudo kontinyu pada frekuensi 4-5 Hz berkisar pada nilai 2000-6000 dB namun pada titik M14 nilai amplitudo kontinyu pada rentang frekuensi yang sama memiliki nilai hampir mencapai 20.000 dB. Perbesaran nilai amplitudo ini terjadi karena daerah ladang memiliki lapisan tanah yang 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. Nilai amplitudo yang hampir sama juga terjadi pada hasil pengukuran pada titik M20 sebagaimana terlihat pada gambar 4.14 berikut ini.



Gambar 4.14 Hasil TFA pada M20

Gambar 4.14 yang menunjukkan nilai hasil pengolahan TFA pada titik M20 yang terletak tepat diatas luweng. Hasil pengolahan TFA pada titik M20 menunjukkan nilai amplitudo kontinyu pada rentang frekuensi yang sama yaitu 4-5 Hz sebagaimana tampak pada titik M10 dan M14. Namun pada titik M20 nilai amplitudo yang dihasilkan memiliki nilai sekitar 20.000 dB seperti pada titik M14. Hal ini disebabkan titik M20 memiliki karakter lokasi yang hampir sama dengan titik M14 yaitu berada di daerah ladang dengan ketebalan lapisan *top soil* lebih tebal dibandingkan daerah perbukitan.

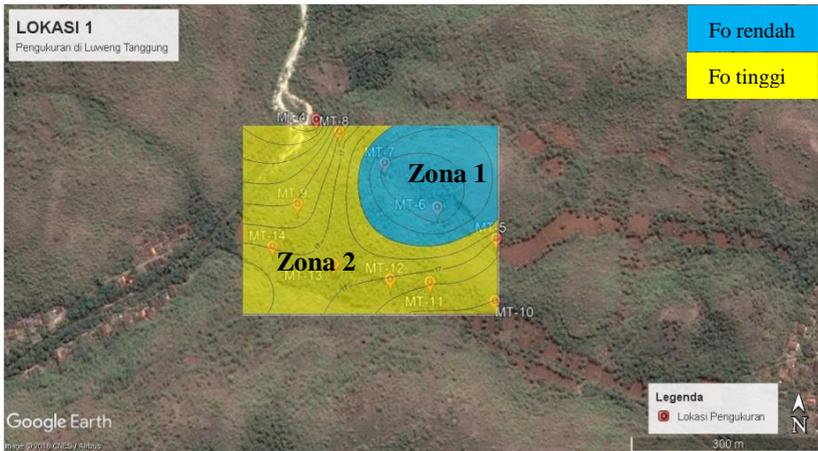
Berdasarkan hasil pengolahan TFA pada lokasi penelitian didapatkan adanya nilai frekuensi yang memiliki amplitudo yang kontinyu pada setiap waktu. Amplitudo yang kontinyu ini mengindikasikan karakter data sungai bawah permukaan di lokasi penelitian secara umum. Sampel hasil yang ditampilkan diatas merupakan perwakilan dari masing-masing lokasi yang secara umum terdiri dari daerah perbukitan, ladang, dan diatas lokasi luweng. Sedangkan hasil gambar yang lain akan dilampirkan pada halaman lampiran. Berdasarkan ketiga gambar tersebut dapat diamati bahwa amplitudo pada sungai bawah permukaan di lokasi penelitian memiliki nilai yang kontinyu pada frekuensi 4-5 Hz dengan nilai amplitudo berkisar 2000-20000 dB. Sehingga nilai ini dapat disimpulkan sebagai karakter data frekuensi dan amplitudo pada sungai bawah permukaan di lokasi penelitian.

4.4 Integrasi Hasil Analisa

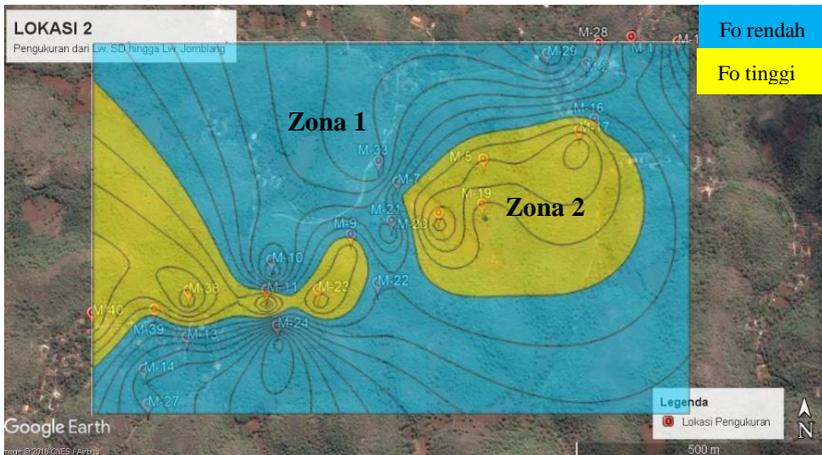
Pada bagian ini akan dibahas hasil analisa data mikrotremor yang telah diolah dengan metode HVSR, *Particle Motion*, dan TFA serta integrasinya dengan beberapa metode yang merupakan bagian dari penelitian kawasan karst Pacitan lainnya. Metode yang diintegrasikan dengan metode mikrotremor pada penelitian ini adalah metode geolistrik 2D (Fitriana, 2018) dan hasil penelitian geologi (Aliyan, 2018). Metode geolistrik digunakan untuk memvalidasi lapisan batuan yang berada di sekitar lokasi penelitian. Sedangkan hasil penelitian geologi digunakan untuk mengidentifikasi Sesar yang berada disekitar lokasi penelitian untuk dianalisa pengaruhnya terhadap aliran sungai bawah permukaan.

Berdasarkan pengolahan data mikrotremor dengan metode HVSR, didapatkan hasil berupa zonasi daerah penelitian di dua lokasi penelitian yang terbagi dalam dua zonasi. Namun nilai acuan yang menjadi dasar zonasi di dua lokasi penelitian memiliki nilai yang sama namun dengan karakteristik data yang berbeda. Hal ini disebabkan adanya perbedaan karakter nilai frekuensi dominan pada kedua lokasi pengukuran. Nilai frekuensi dominan pada lokasi 1 memiliki rata-rata nilai yang relatif lebih tinggi bila dibandingkan nilai frekuensi dominan di lokasi 2. Pada lokasi 1, nilai frekuensi dominan memiliki nilai antara 12,35 Hz – 23,6 Hz, sedangkan pada lokasi 2 memiliki nilai yang lebih bervariasi antara 5,25 Hz – 19,85 Hz. Perbedaan ini disebabkan karena lokasi 1 berdekatan dengan aliran Sungai Maron yang memiliki arus yang deras sehingga frekuensi dominan yang terekam terpengaruh oleh kerapatan gelombang yang dirambatkan oleh sungai tersebut sehingga menyebabkan nilai frekuensi dominan yang relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan lokasi 2 yang jauh dari sumber getaran di permukaannya. Namun nilai acuan yang menjadi batas zonasi pada dua lokasi tersebut disamakan yaitu >15 Hz dan <15 Hz. Hal ini berdasarkan hasil

interpretasi pada peta persebaran frekuensi dominan yang mengindikasikan frekuensi dominan >15 Hz merupakan daerah perbukitan dan <15 Hz merupakan daerah ladang sebagaimana tampak pada gambar 4.15 dan 4.16.



Gambar 4.15 Peta zonasi berdasarkan Fo pada lokasi 1

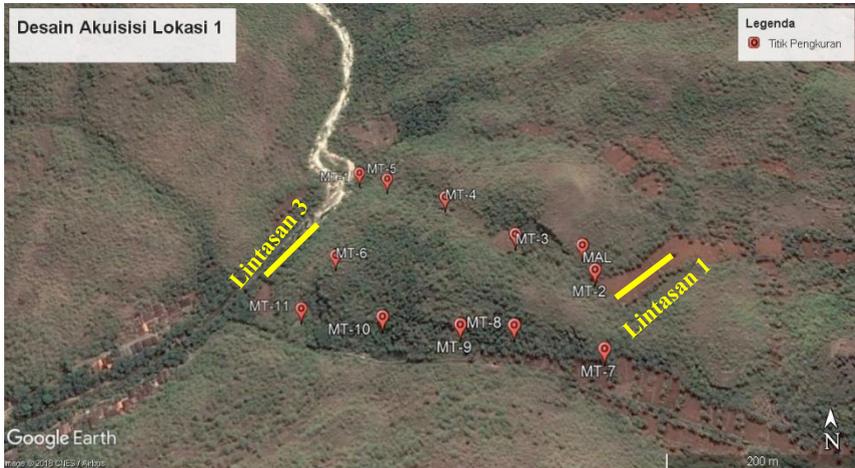


Gambar 4.16 Peta zonasi berdasarkan Fo pada lokasi 2

Dari gambar 4.15 dan 4.16 dapat dilihat bahwa 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 di daerah ladang karena bukit di daerah karst

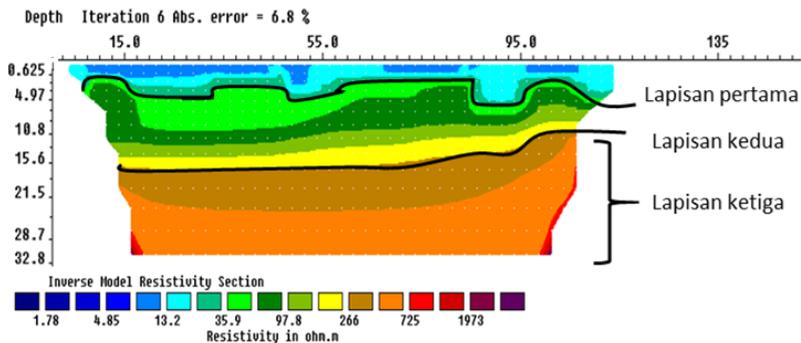
merupakan bukit batu yang terdiri dari batuan terumbu yang sangat keras hingga menyerupai batuan beku. Hal ini menyebabkan lokasi tersebut memiliki ketebalan *top soil*/sedimen yang tipis bahkan mendekati nol di beberapa lokasi.

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 1 yang berdekatan dengan pengukuran mikrotremor.



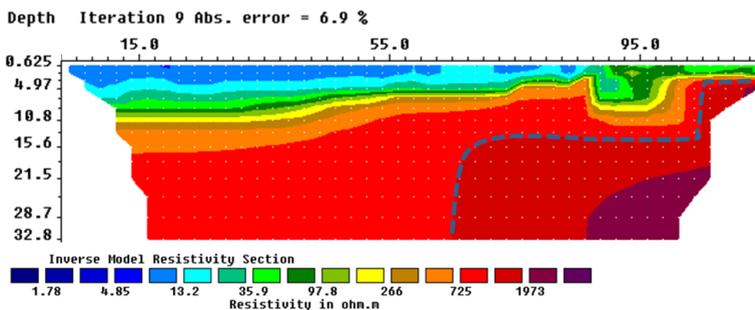
Gambar 4.17 Plotting lintasan resistivitas terhadap lokasi penelitian 1

Gambar 4.17 menunjukkan lokasi pengukuran resistivitas 2D terhadap lokasi pengukuran mikrotremor. Lintasan 1 berada di daerah ladang pada bagian timur lokasi 1, sedangkan lintasan 3 berada pada daerah pinggir sungai Maron pada bagian barat lokasi 1. Berikut adalah hasil pengolahan 2D pada lintasan 1 dan 3 yang berada pada lokasi 1 titik pengukuran mikrotremor.



Gambar 4.18 Hasil pengukuran resistivitas 2D lintasan 1 pada lokasi 1

Gambar 4.18 diatas menunjukkan hasil pengukuran resistivitas 2D yang dilakukan di daerah ladang pada lokasi 1, kedalaman lapisan kerasnya sangat dangkal yaitu pada kedalaman 3 m yang diinterpretasikan sebagai batuan gamping terumbu. Lintasan 1 resistivitas 2D ini berlokasi di sebelah timur lokasi 1 pengukuran mikrotremor (Nurfitriana, 2018).



Gambar 4.19 Hasil pengukuran resistivitas 2D lintasan 3 pada lokasi 1

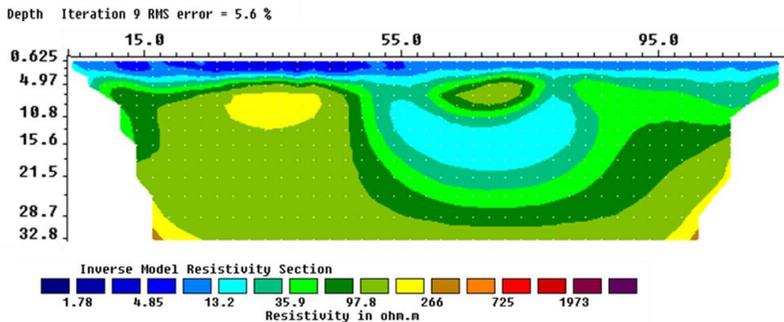
Gambar 4.19 menunjukkan hasil pengukuran resistivitas 2D lintasan 3 yang berlokasi di pinggir sungai Maron pada bagian barat lokasi 1 pengukuran mikrotremor. Berdasarkan hasil pengukuran resistivitas 2D pada lintasan 3, kedalaman 0-4 meter dengan nilai resistivitas 1,78-35,9 Ohmmeter diindikasikan sebagai batuan lempungan dan batuan gamping masif berada di bawah lapisan batuan lempungan (Nurfitriana, 2018).

Pada lokasi 2, hasil pengukuran resistivitas 2D yang berdekatan dengan pengukuran mikrotremor merupakan lintasan 6. Berikut adalah plotting lokasi pengukuran resistivitas 2D pada lokasi 2.



Gambar 4.20 Plotting lintasan resistivitas terhadap lokasi penelitian 2

Gambar 4.20 menunjukkan plotting lokasi pengukuran resistivitas 2D terhadap lokasi pengukuran mikrotremor pada lokasi 2. Lintasan 6 berada di daerah ladang yang terletak di dekat titik M20. Berikut adalah hasil pengolahan 2D pada lintasan 6 yang berada pada lokasi 2 titik pengukuran mikrotremor.

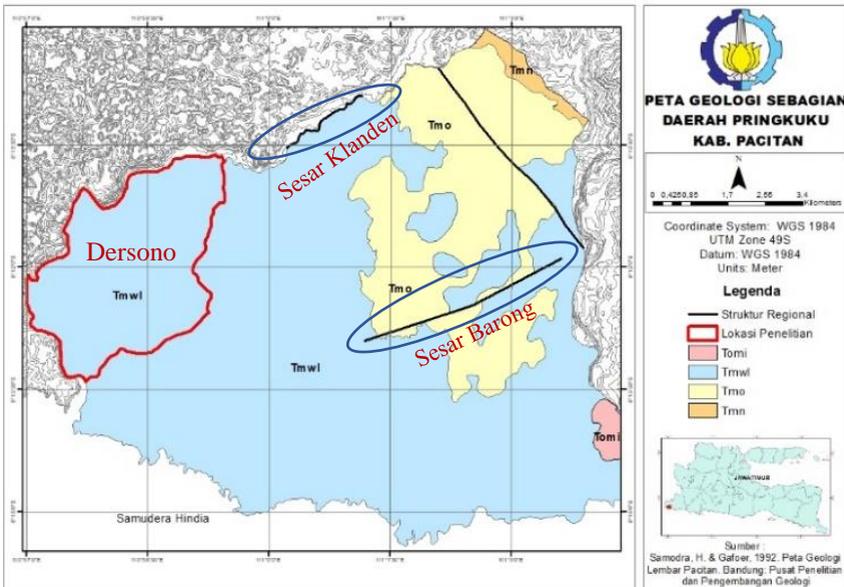


Gambar 4.21 Hasil pengukuran resistivitas 2D pada lokasi 2

Gambar 4.21 diatas menunjukkan hasil pengukuran resistivitas 2D yang dilakukan di daerah ladang pada lokasi 2. Hasil pengukuran resistivitas 2D lintasan 6 menunjukkan kedalaman lapisan keras terdapat pada kedalaman 4 m yang diinterpretasikan sebagai batuan karbonat terumbu. Pada lintasan 6 didapatkan anomali yang diinterpretasikan sebagai sungai bawah permukaan pada kedalaman 6 m (Nurftriana, 2018). Hasil ini sekaligus menjadi validasi keberadaan sungai bawah permukaan pada lokasi penelitian.

Berdasarkan hasil pengukuran resistivitas 2D pada lokasi 1 dan 2, menunjukkan bahwa lapisan keras pada daerah penelitian sangat tipis dan didominasi batuan keras. Hal ini membuktikan bahwa lokasi penelitian berada dalam tipe 4 jenis 2 menurut klasifikasi (Kanai dan Tanaka, 1954). Hal ini menyebabkan nilai frekuensi dominan pada lokasi penelitian memiliki nilai yang relatif tinggi bila dibandingkan dengan daerah yang memiliki lapisan lunak yang lebih tebal.

Berdasarkan hasil analisa *particle motion*, didapatkan perkiraan arah aliran sungai bawah permukaan pada lokasi 1 dan lokasi 2 yang mengacu dari arah resultan pergerakan partikel di setiap titik pengukuran. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa arah aliran sungai bawah permukaan di lokasi 1 memiliki orientasi arah dari timur laut lalu berbelok ke arah barat. Sedangkan pada lokasi 2 memiliki orientasi arah dari timur laut ke barat daya. Hal ini menunjukkan adanya kesamaan antara arah aliran sungai bawah permukaan dengan arah sesar, sebagaimana tampak pada gambar berikut ini.



Gambar 4.22 Peta geologi Pringkuu (Aliyan 2018)

Gambar 4.22 menunjukkan bahwa arah Sesar Klanden dan Barong memiliki orientasi arah timur laut-barat daya. Sesar Klanden merupakan sesar normal mengiri sedangkan sesar Barong merupakan sesar sinistral mendarat (Aliyan, 2018). Kedua 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. Berdasarkan analisa ini dapat disimpulkan bahwa arah aliran sungai bawah permukaan di Desa dersono, Pringkuku, Pacitan ini dikontrol oleh Sesar Klanden dan Sesar Barong sesuai dengan arah aliran sungai bawah permukaan pada kedua lokasi penelitian.

Selanjutnya berdasarkan hasil pengolahan TFA menunjukkan bahwa sungai bawah permukaan yang dianalisa dari berbagai medan berbeda di lokasi penelitian memiliki karakteristik yang khas yang juga dijadikan dasar identifikasi adanya sungai bawah permukaan pada lokasi tersebut. Hasil ini merupakan 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 di dapatkan hasil bahwa karakteristik sungai bawah permukaan di lokasi penelitian memiliki nilai frekuensi 4 -5 Hz dengan amplitudo berkisar dari 2000 dB – 20000 dB. Hasil ini memiliki kesesuaian data dengan hasil penelitian sebelumnya oleh (Bahri, 2018) yang memiliki nilai frekuensi 4 -5 Hz dengan amplitudo berkisar dari 2000 dB – 10.000 dB. Hal ini sekaligus memvalidasi hasil penelitian ini dalam mengidentifikasi keberadaan sungai bawah permukaan pada lokasi penelitian.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tugas akhir yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Daerah penelitian terbagi dalam dua zona karakter nilai frekuensi dominan (f_0) yaitu zona I bernilai rendah dengan rentang $f_0 < 15$ Hz yang terletak di daerah ladang dan zona II bernilai tinggi dengan rentang $f_0 > 15$ Hz yang terletak di daerah bukit dan luweng.
2. Hasil pemetaan sungai bawah permukaan berdasarkan analisa resultan *particle motion*, menunjukkan aliran sungai memiliki orientasi arah Timur Laut – Barat Daya. Berdasarkan hasil analisa tersebut, disimpulkan bahwa arah aliran sungai dikontrol oleh Sesar Klanden dan Sesar Barong 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 kontinyu terhadap permukaan dengan nilai amplitudo 2000-20.000 dB pada rentang frekuensi 4-5 Hz yang menjadi nilai khas dari sungai bawah permukaan di daerah penelitian.

5.2 Saran

Saran pengembangan penelitian ini lebih lanjut adalah

1. Desain akuisisi mikrotremor dibuat dalam bentuk grid sehingga analisa arah *particle motion* semakin akurat dan efisien.
2. Dilakukan analisis komponen vertikal terhadap komponen horizontal pada metode *particle motion* untuk memperkirakan kedalaman sungai bawah permukaan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

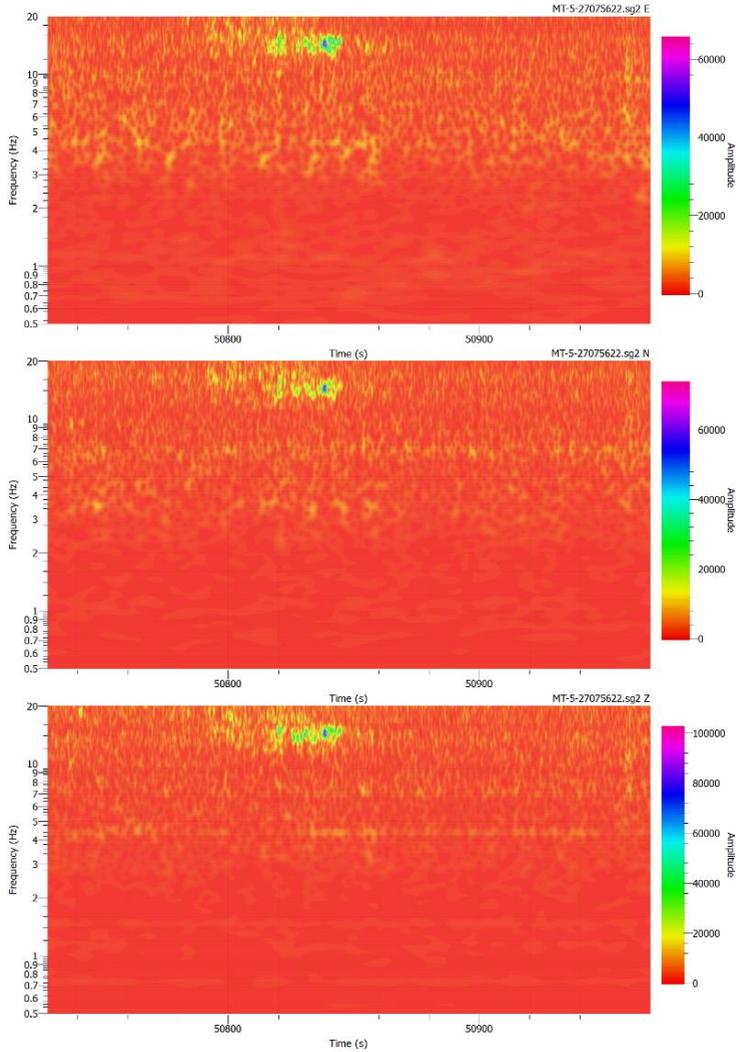
- Aliyan, S.A. (2018), *Identifikasi Kontrol Struktur Geologi Terhadap Pola Aliran Sungai Bawah Permukaan Di Kecamatan Pringkuwu, Kabupaten Pacitan*, ITS Surabaya.
- Arifin, S.S., Mulyanto, B.S., Marjiyono, dan Setianegara, R. (2013), *Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempabumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor Dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya*, Jurnal Geofisika Eksplorasi Vol. 2/No. 1. Lampung: Universitas Lampung.
- Bahri, A.S., Chemistra, P., Utama, W., Widodo, A. (2018), *Characterization of Microtremor for The Identification of Subsurface Rivers at Kedung Banteng, Pacitan, Indonesia*, EAGE-HAGI 1st Asia Pacific.
- Cohen, L. (1995), *Time-Frequency Analysis*. New York: Prentice-Hall.
- Fah, D., Kind, F., dan Giardini. (2006), *A Theoretical Investigation of Average H/V Ratio*, Swiss: Geophysical Journal Internasional.
- Nurfritriana, I. (2018), *Identifikasi Sungai Bawah Permukaan Dengan Metode Resistivitas 2d Konfigurasi Wenner-Schlumberger Kawasan Karst Desa Dersono, Pacitan*. ITS Surabaya.
- Kanai, K. and Tanaka, T. (1954), *Measurement of the microtremor I*, Bull. Earthq. Res. Institute, 32, 199–209.
- Kumar, Praveen, and Foughoula, Efi. (1994), *Wavelet in Geophysics*, San Diego: Academic Press.
- Kurniawati, D., Maryanto, S., Wasis. (2013), *Penentuan Pusat Aktivitas Hydrothermal Daerah Cangar Jawa Timur Berdasarkan Analisis Pergerakan Partikel (Particle Motion)*, Universitas Brawijaya. Malang.
- Lehmann, H. (1939), *Morphologische Studien auf Java*. Geographische Abhandlungen, 3 Reihe, Heft 9.
- Nakamura, Y. (1989) *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*, Japan: Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30, No.1.
- Seht, M.Ibs-von., dan Wohlenberg. J. (1999), *Microtremor Measurement Used To Map Thickness Of Soft Sediment*, Bulletin of Seimological Society of America, Vol. 89, No. 1.
- Sitorus, N. Purwanto, M.S. Utama, W. (2017), *Analisis Nilai Frekuensi Natural dan Amplifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor HVSR*, Jurnal Geosaintek ITS Vol. 3 No.2. Surabaya.
- Surono, Toha, B., dan Sudarno, I. (1992), *Peta Geologi Lembar Surakarta-Giritontro, Jawa, Skala 1:100.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

- Syahrudin, M.H., Aswad, S., Palullungan, E.F., Maria, dan Syamsuddin. (2014), *Penentuan Profil Ketebalan Sedimen Lintasan Kota Makassar Dengan Mikrotremor*, Jurnal Fisika Vol. 4 No. 1. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Van Bemmelen, R.W. (1949), *The Geology Of Indonesia Vol-IA*.University Of Virginia:U.S. Government Printing Office.

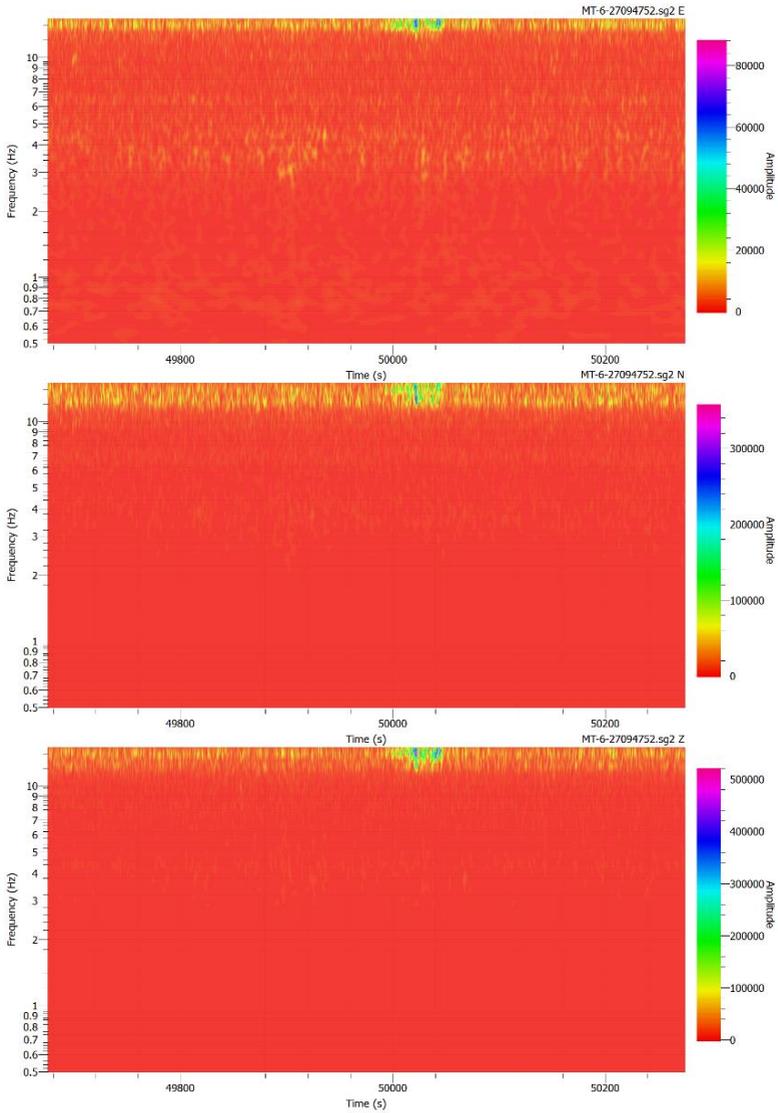
LAMPIRAN

Hasil Pengolahan TFA

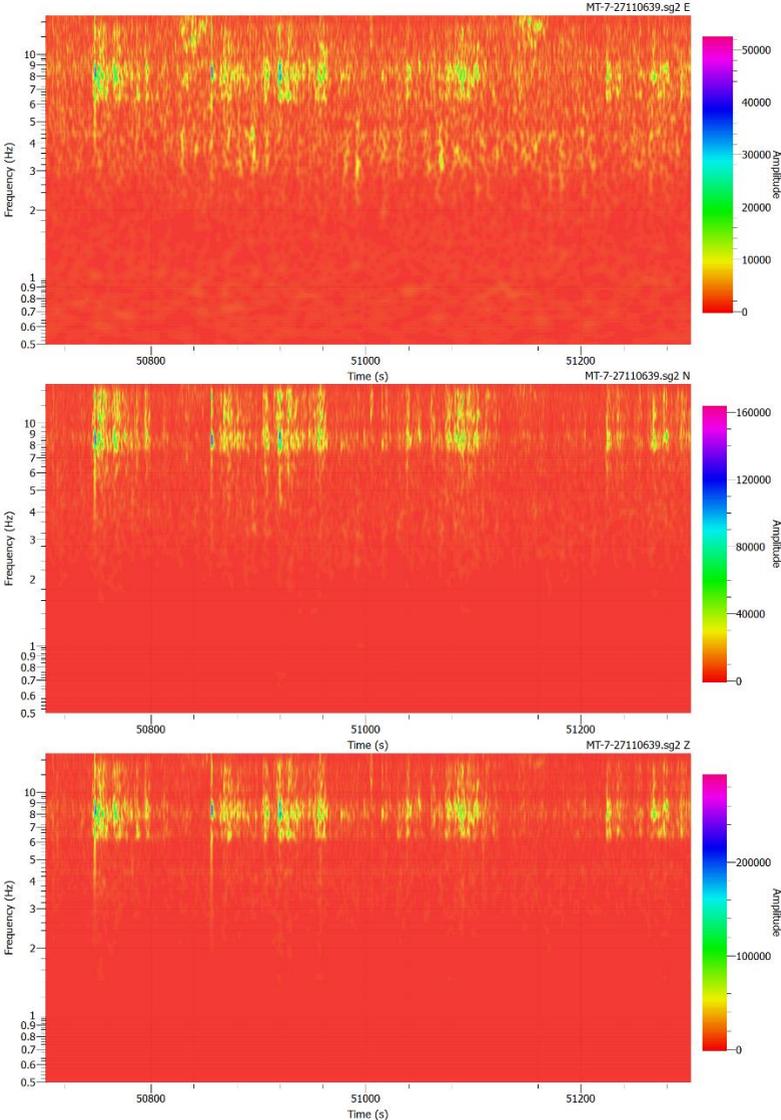
Hasil TFA MT-2



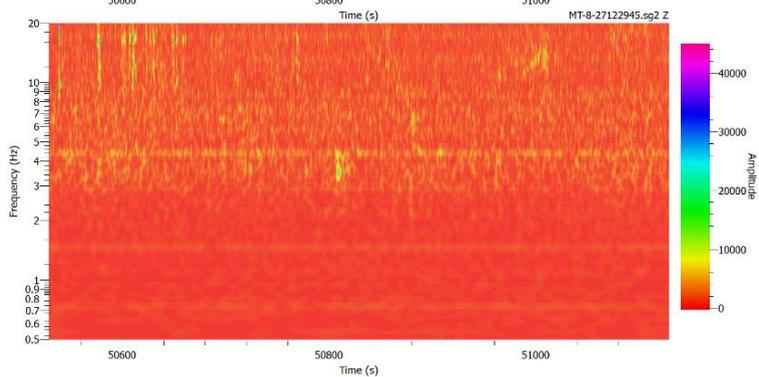
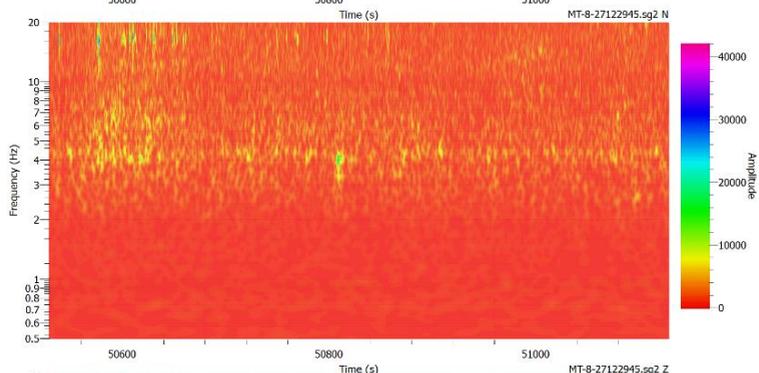
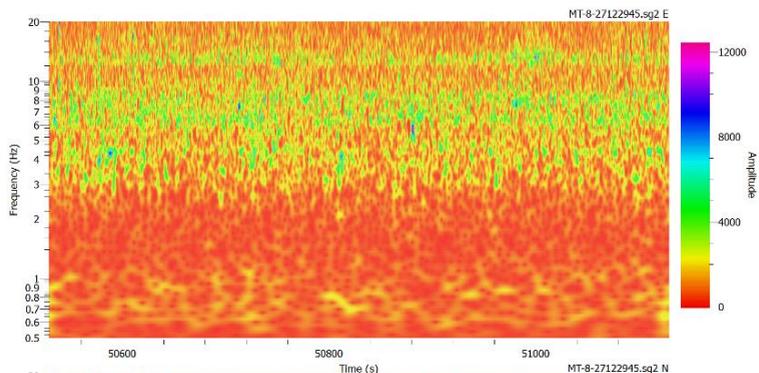
Hasil TFA MT-3



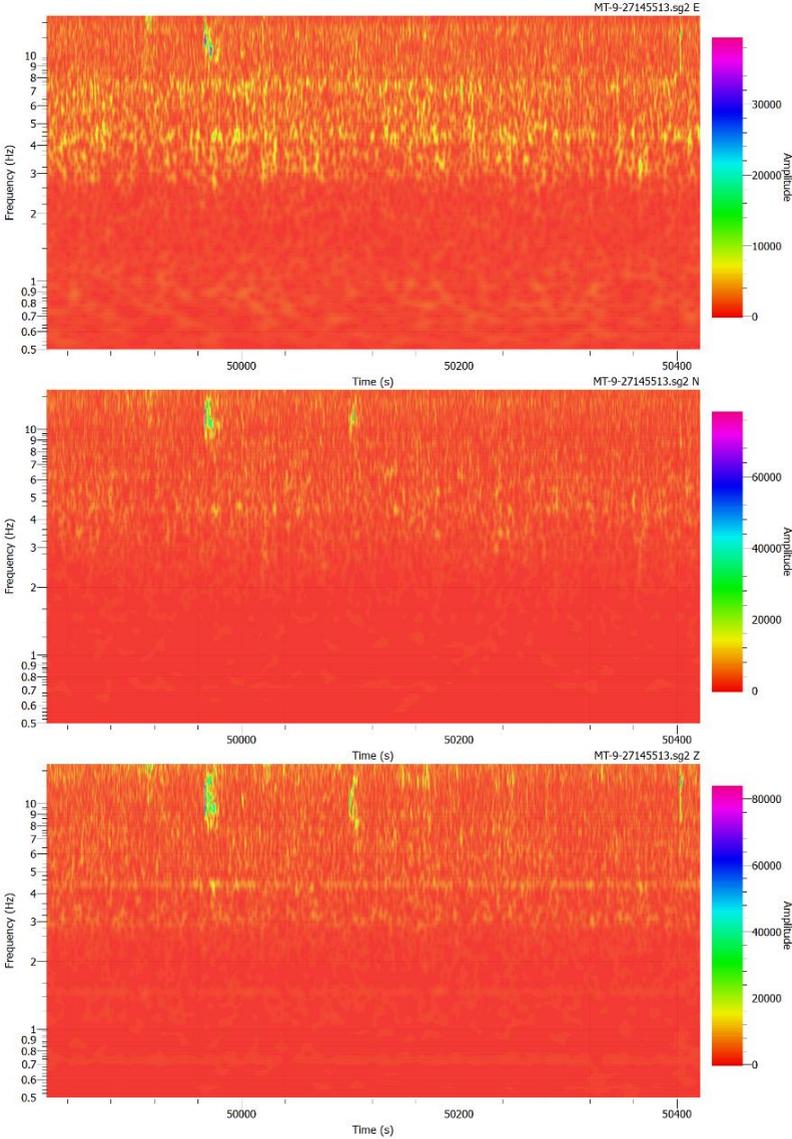
Hasil TFA MT-4



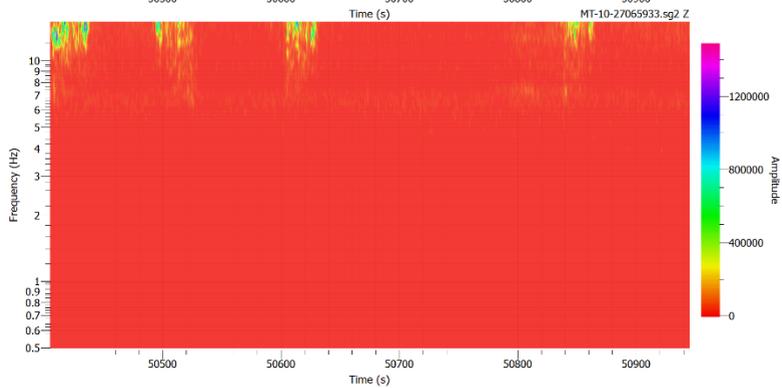
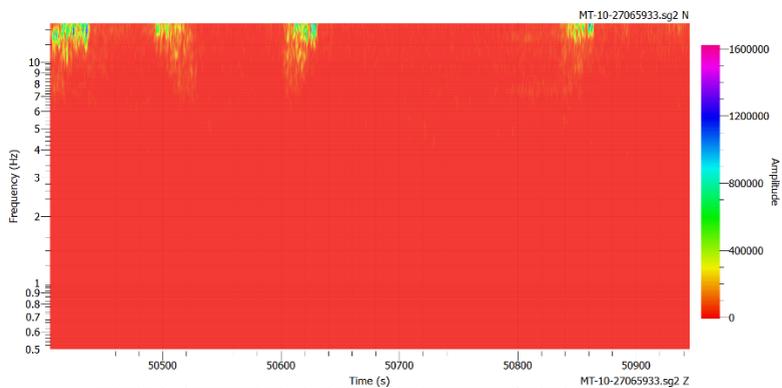
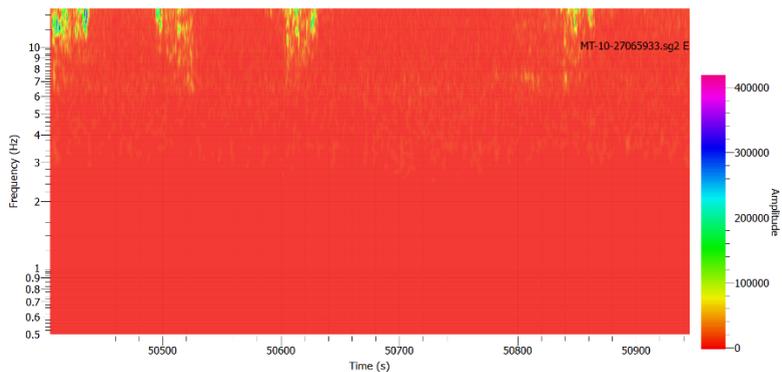
Hasil TFA MT-5



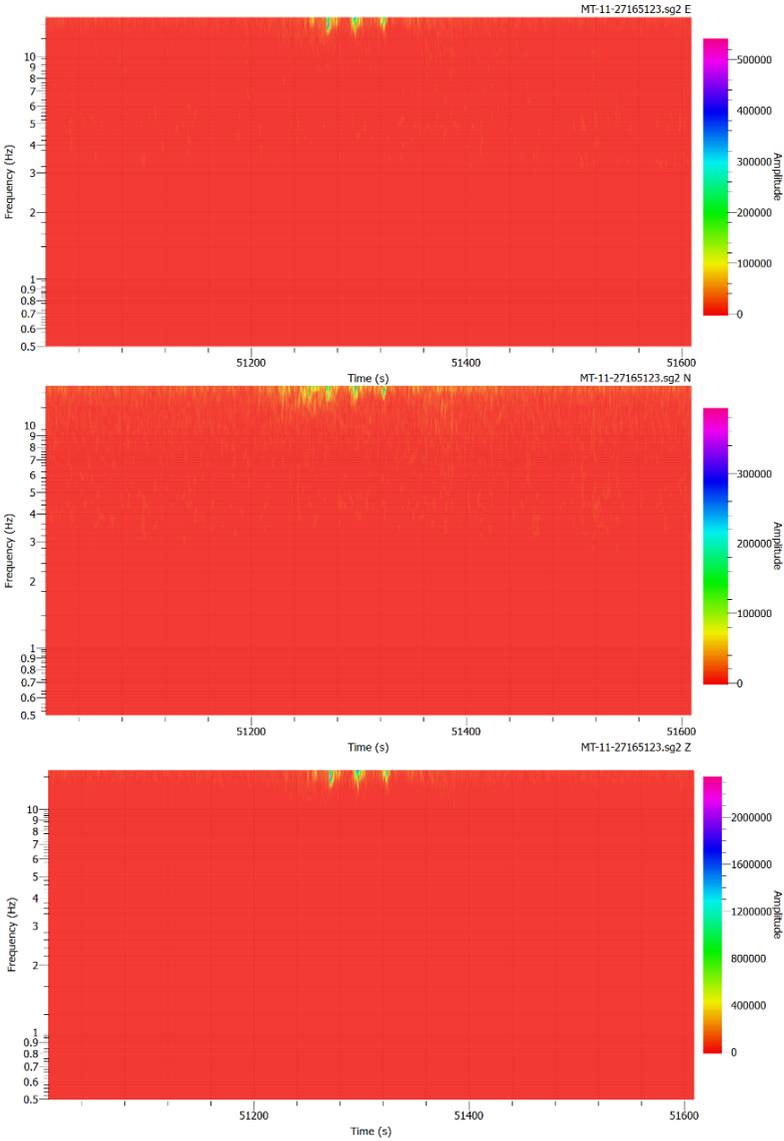
Hasil TFA MT-6



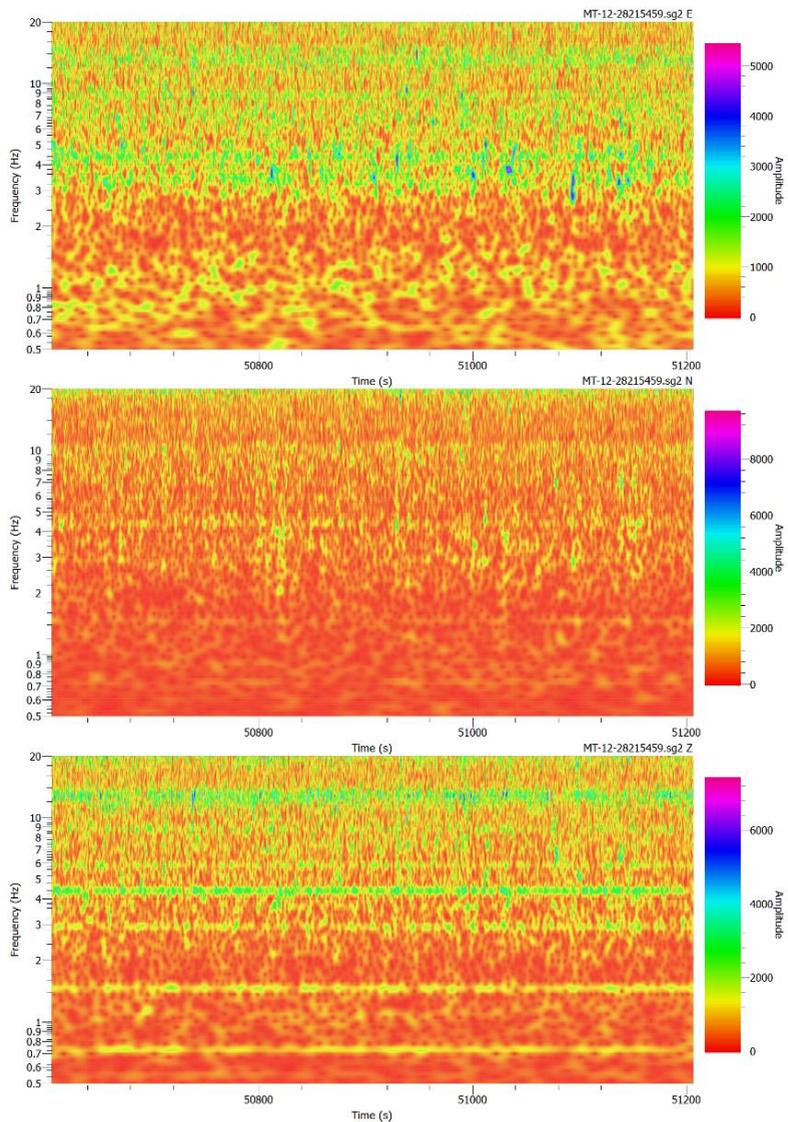
Hasil TFA MT-7



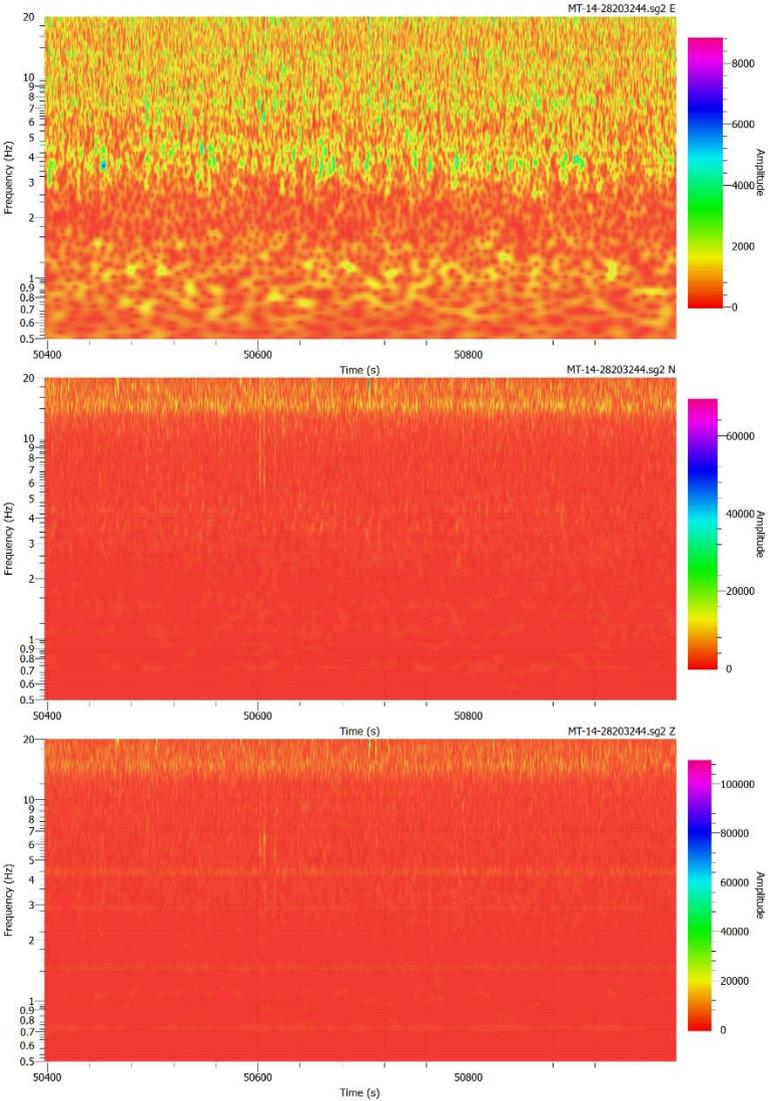
Hasil TFA MT-8



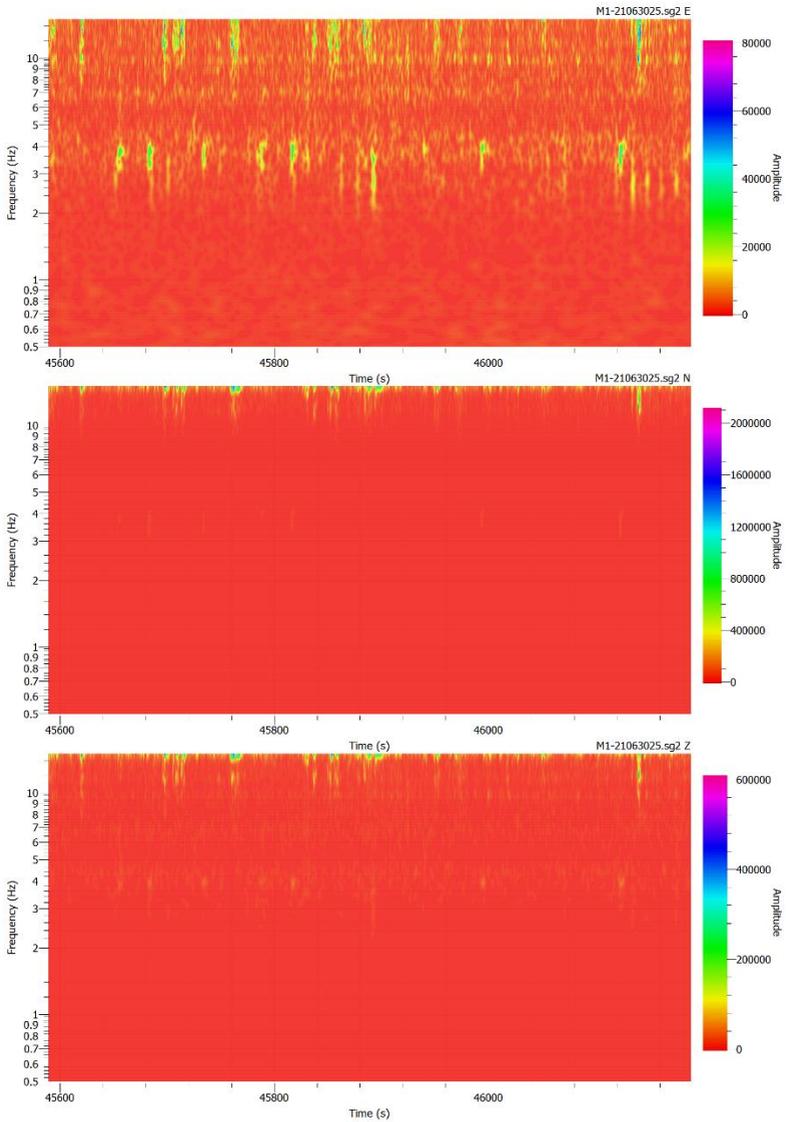
Hasil TFA MT-9



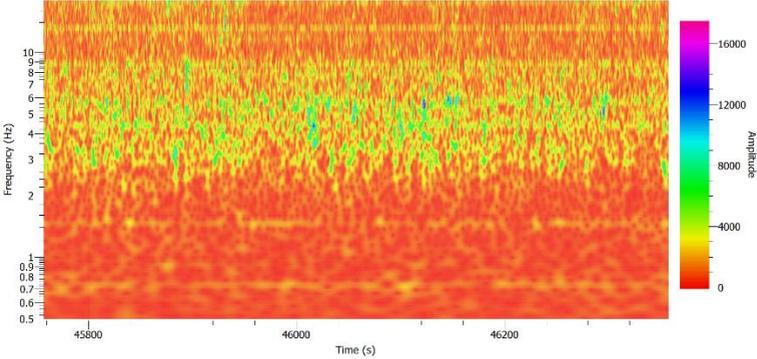
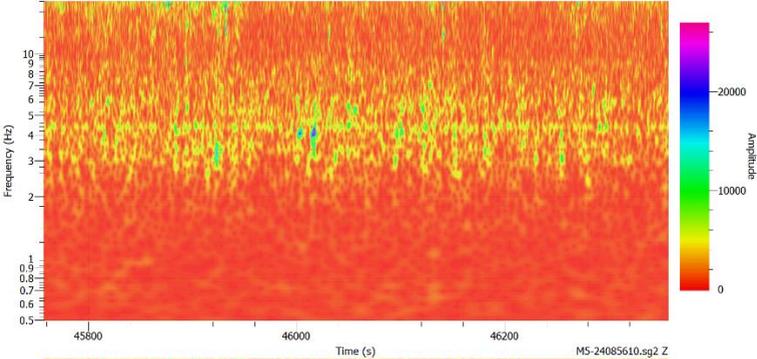
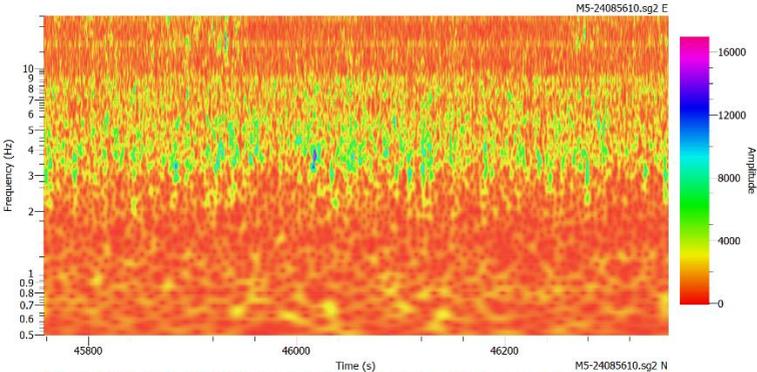
Hasil TFA MT-10



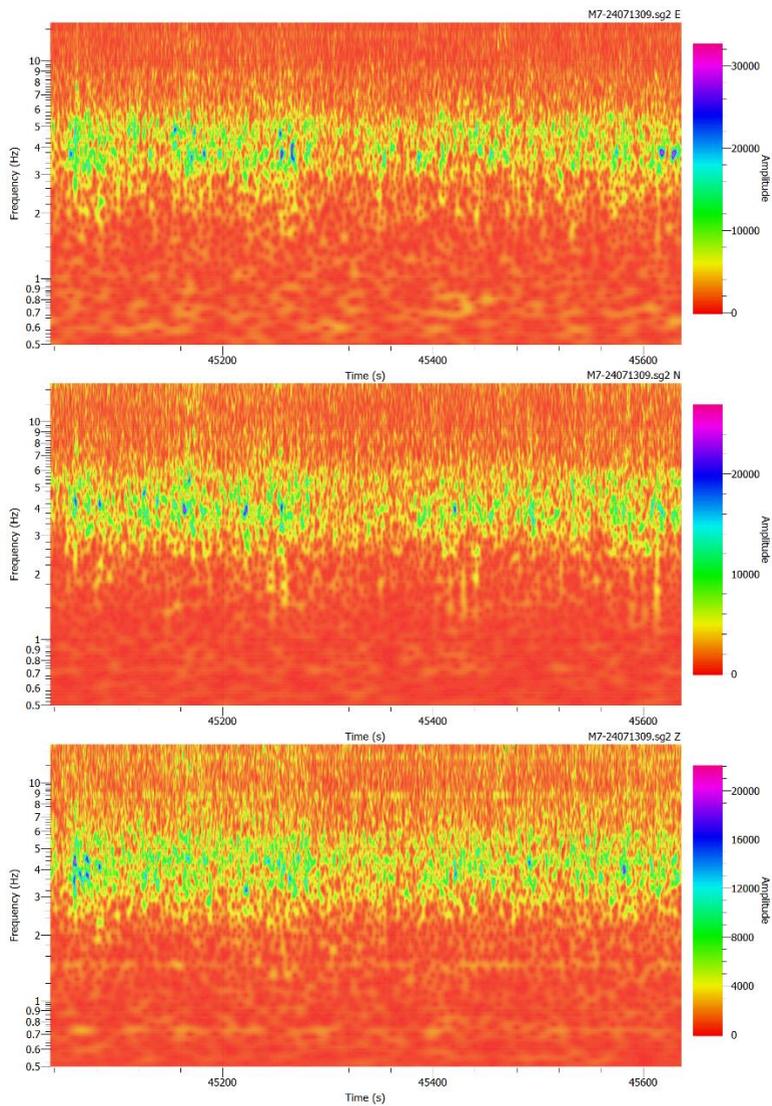
Hasil TFA M1



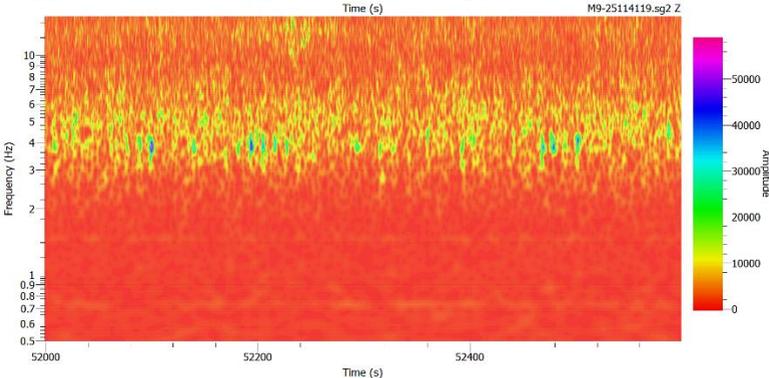
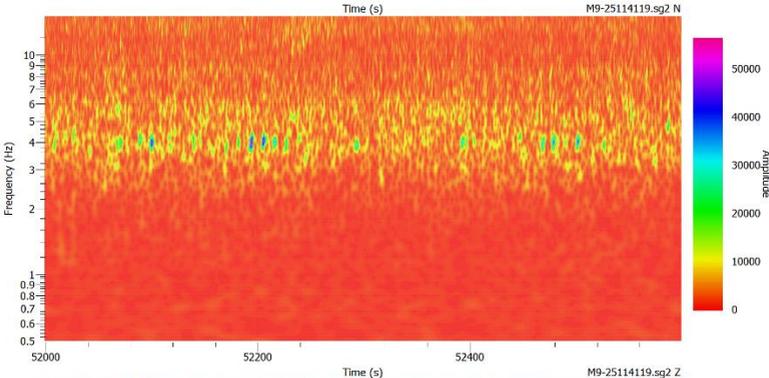
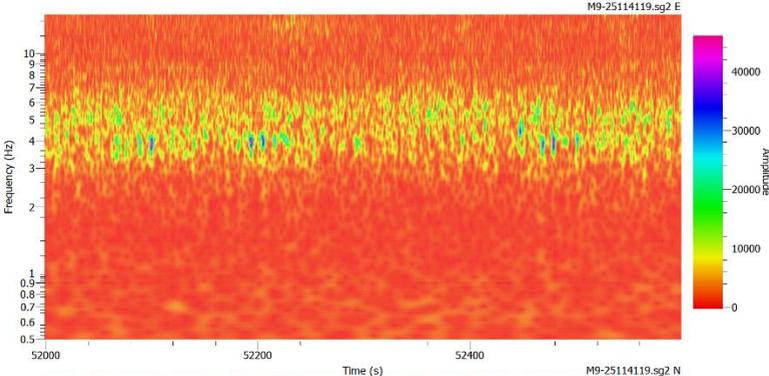
Hasil TFA M5



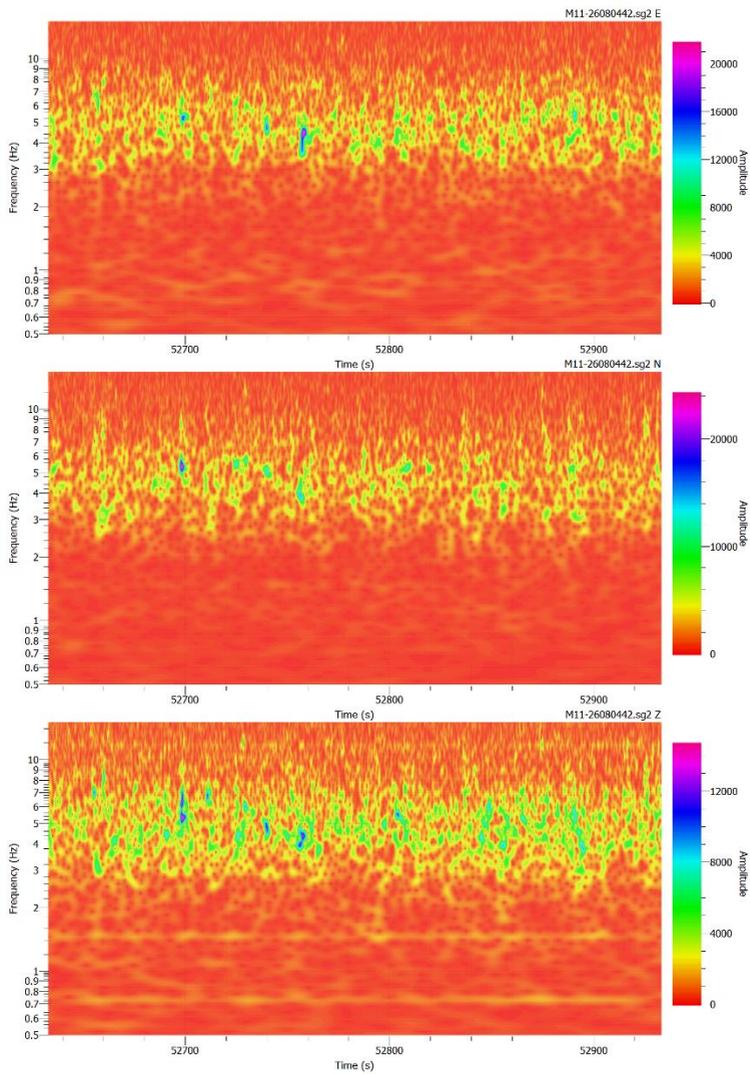
Hasil TFA M7



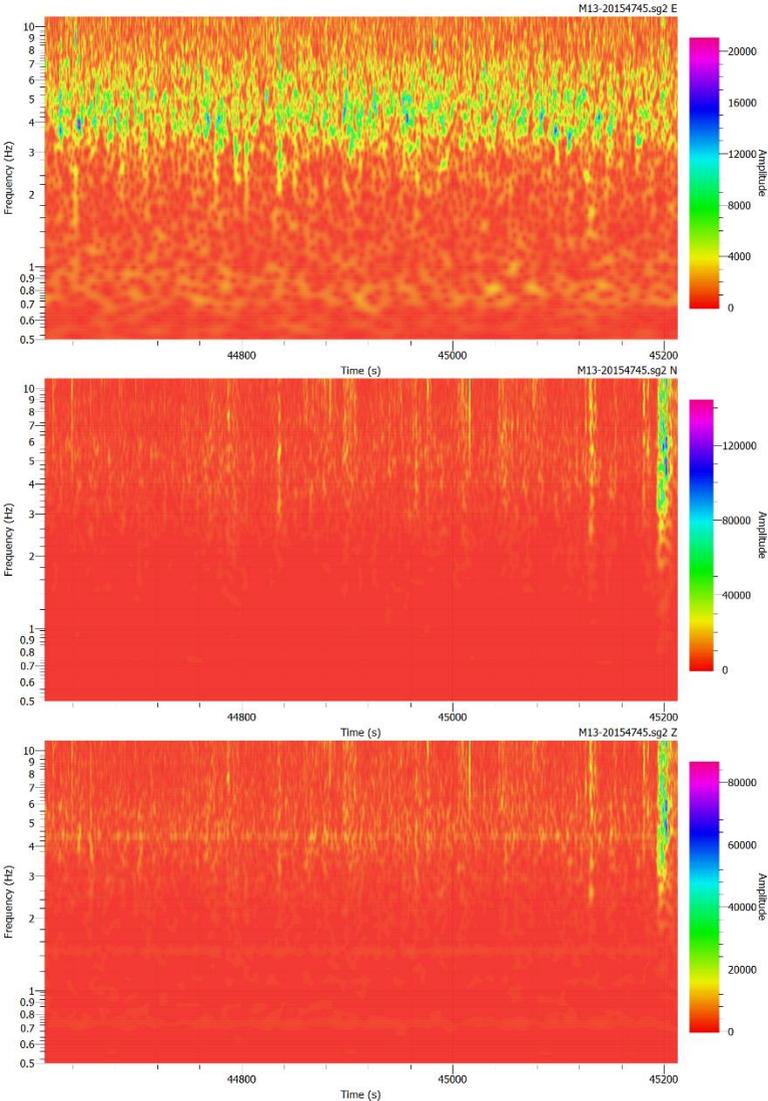
Hasil TFA M9



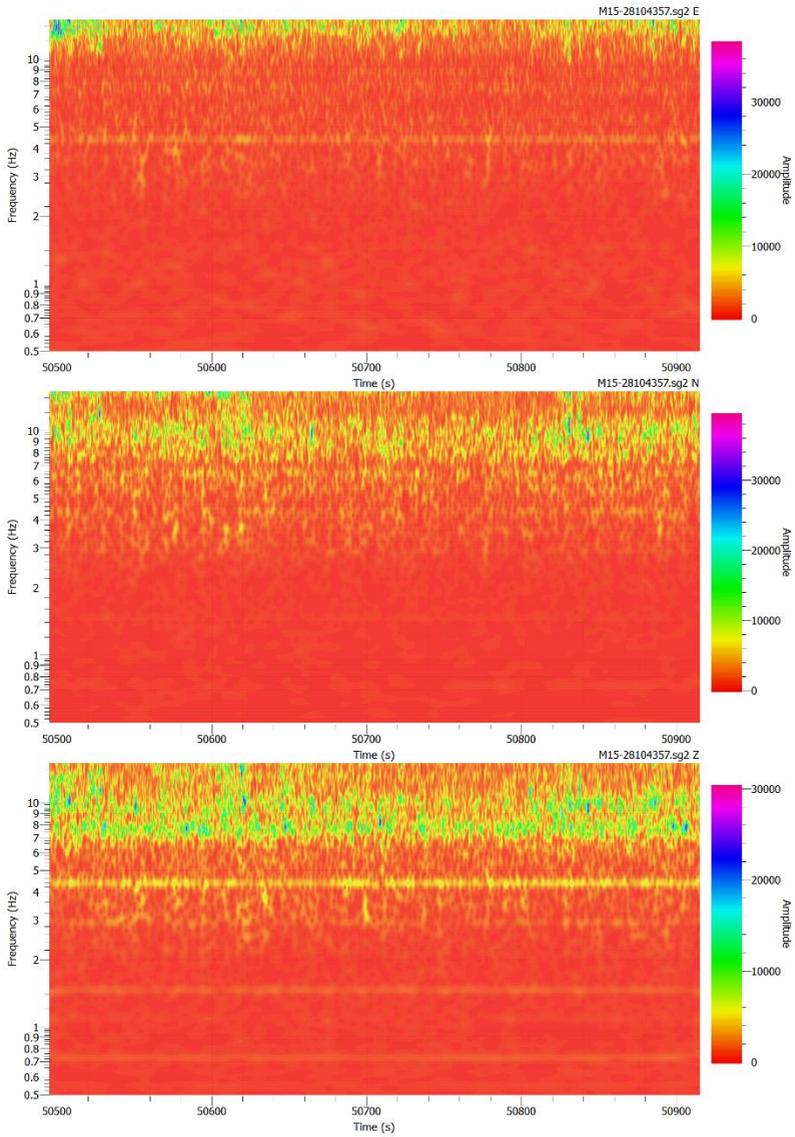
Hasil TFA M11



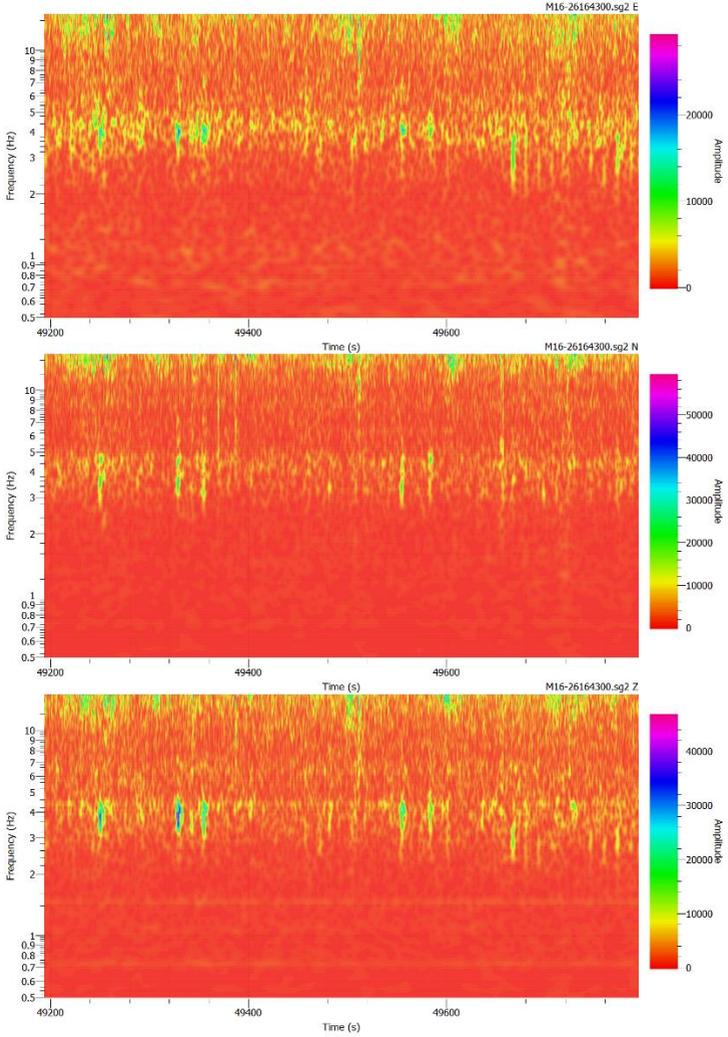
Hasil TFA M13



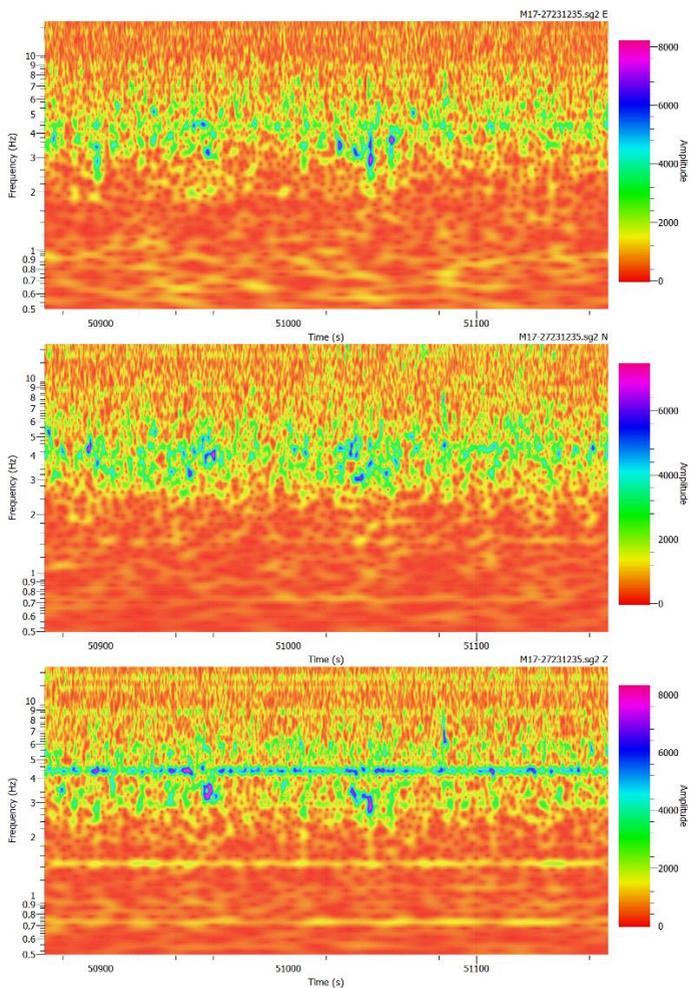
Hasil TFA M15



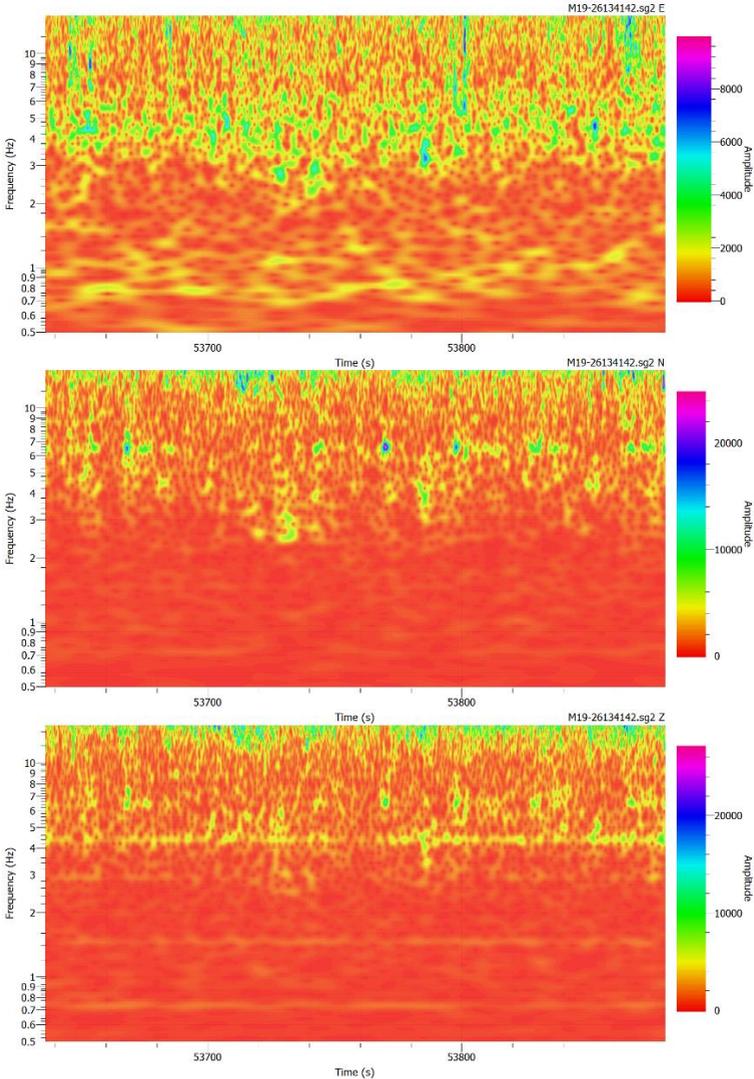
Hasil TFA M16



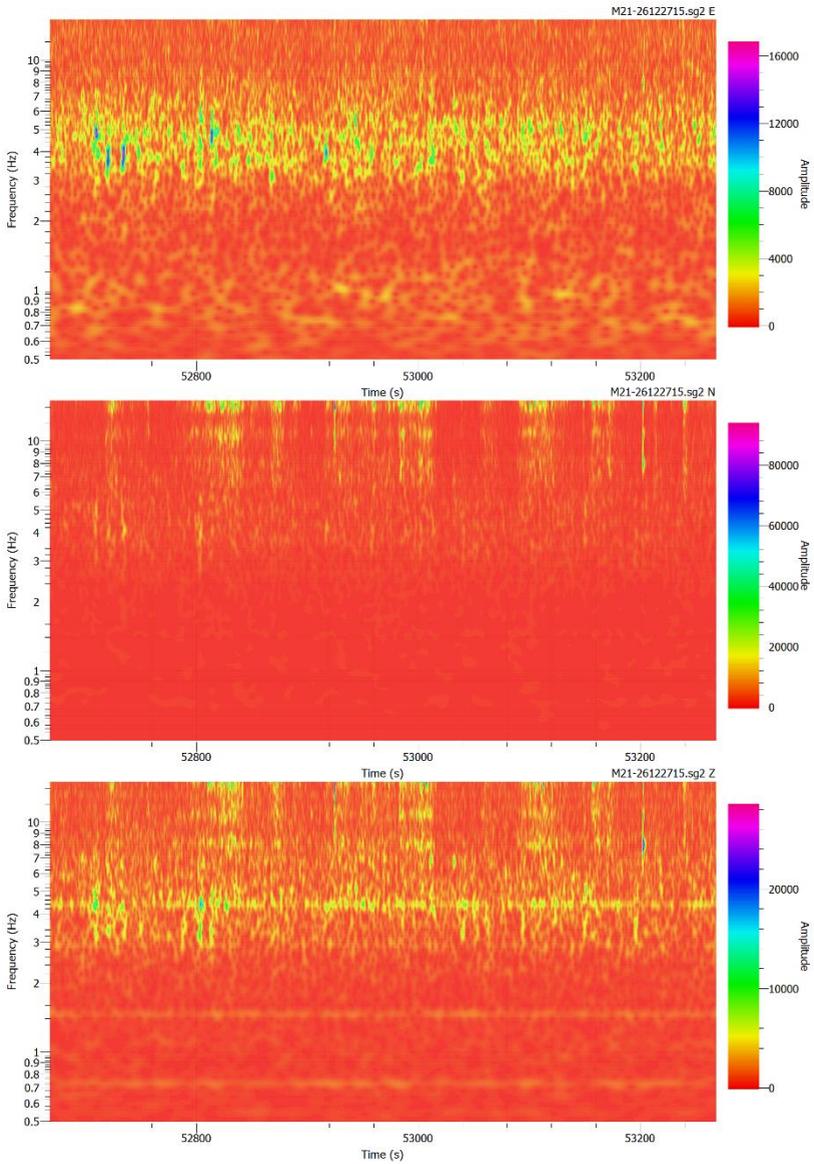
Hasil TFA M17



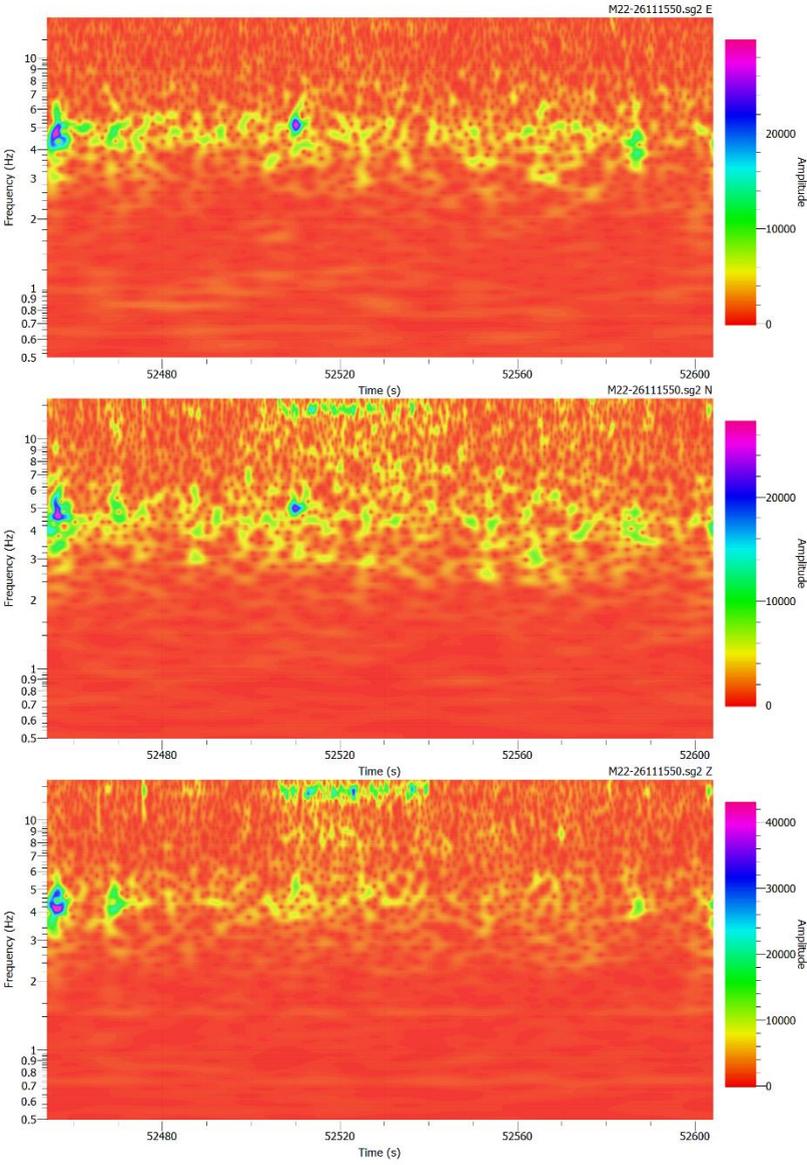
Hasil TFA M19



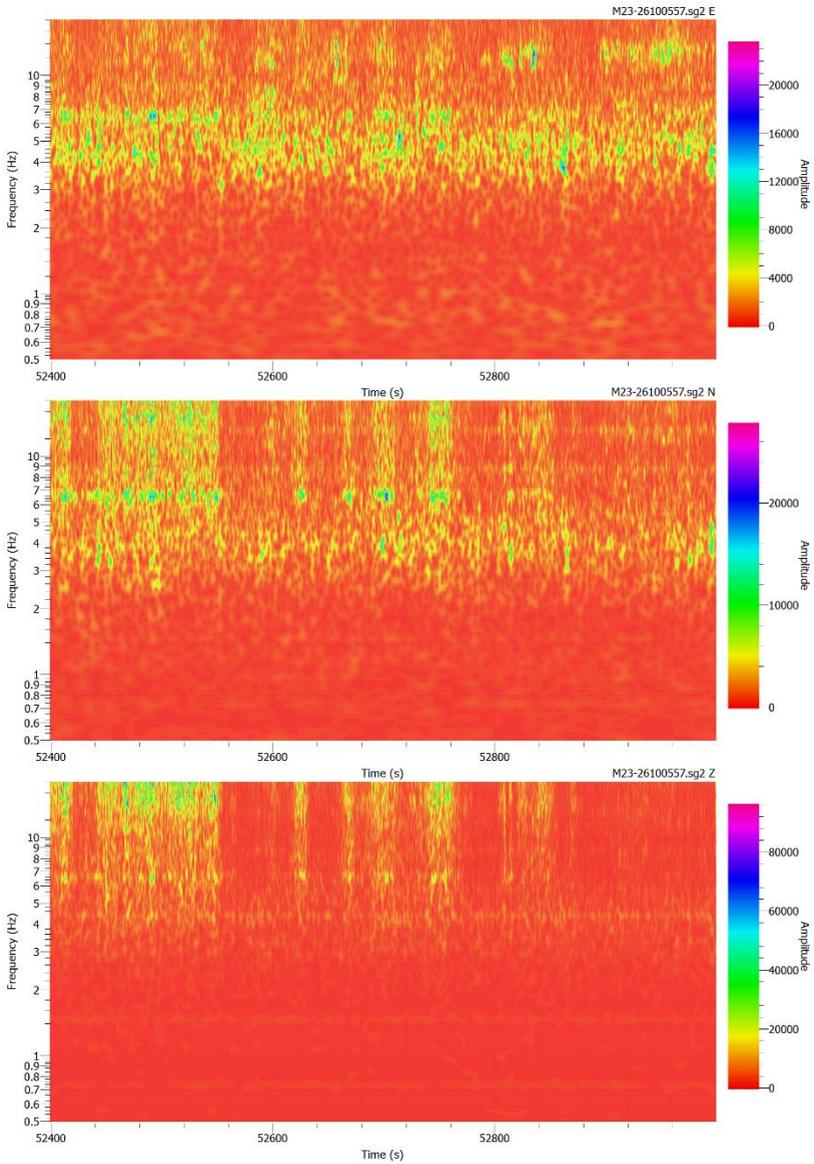
Hasil TFA M21



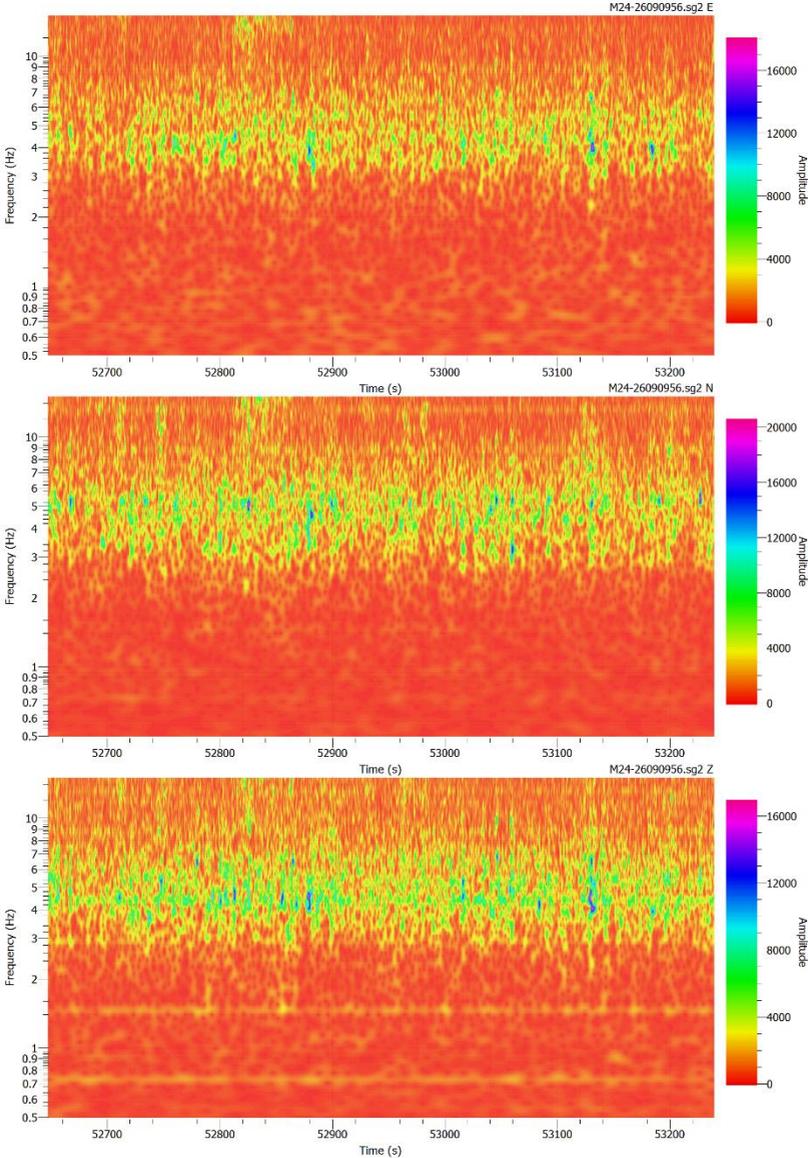
Hasil TFA M22



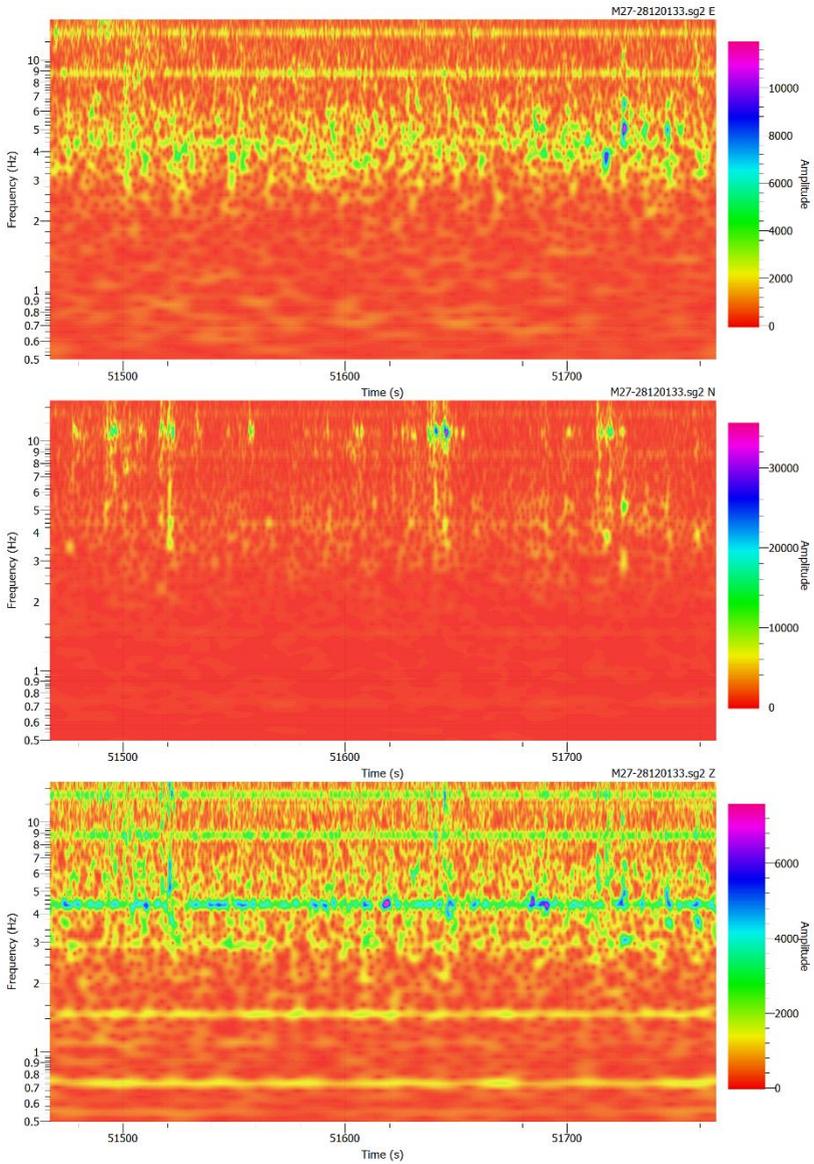
Hasil TFA M23



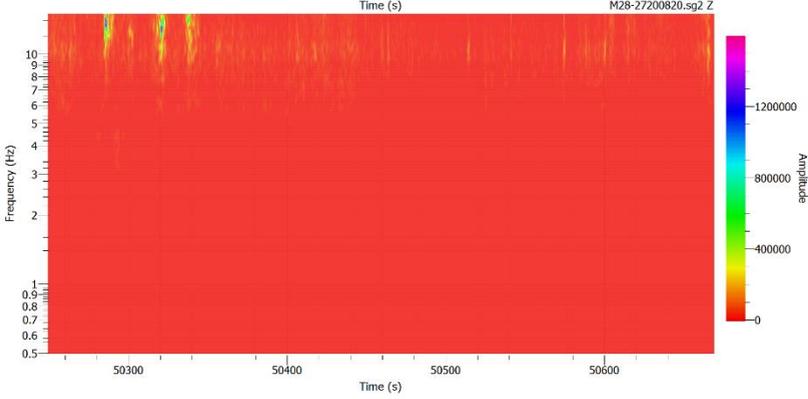
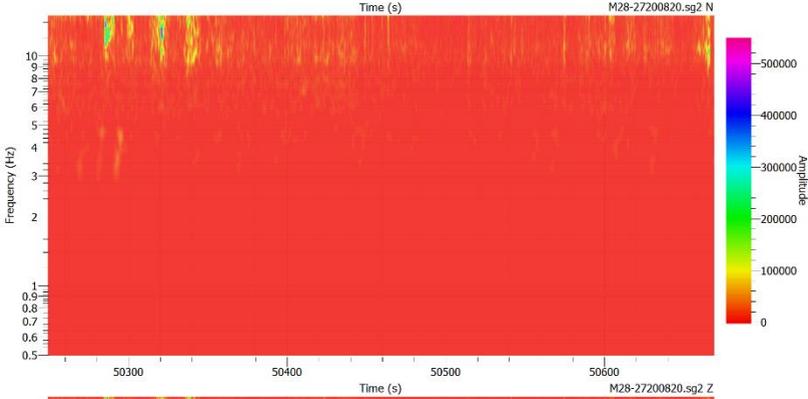
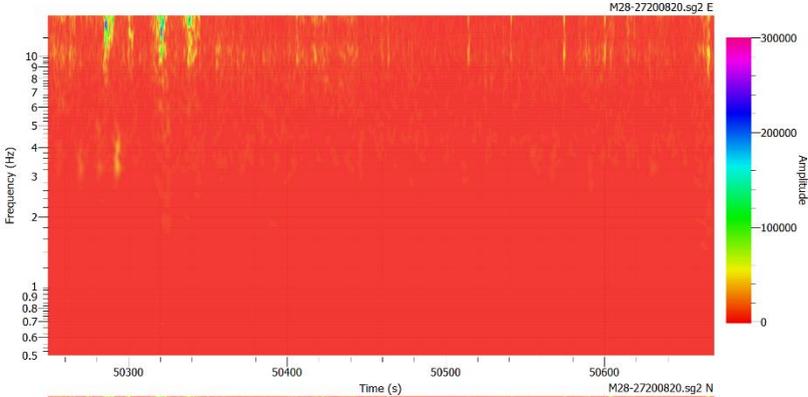
Hasil TFA M24



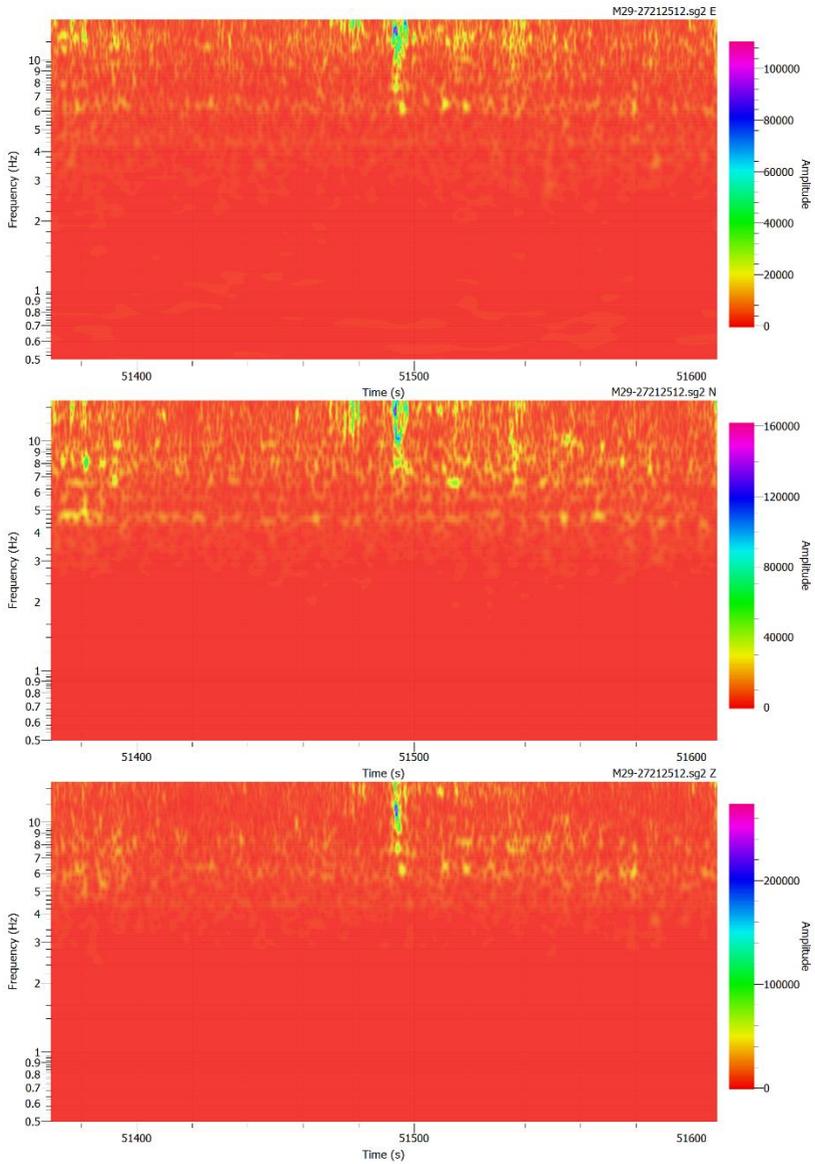
Hasil TFA M27



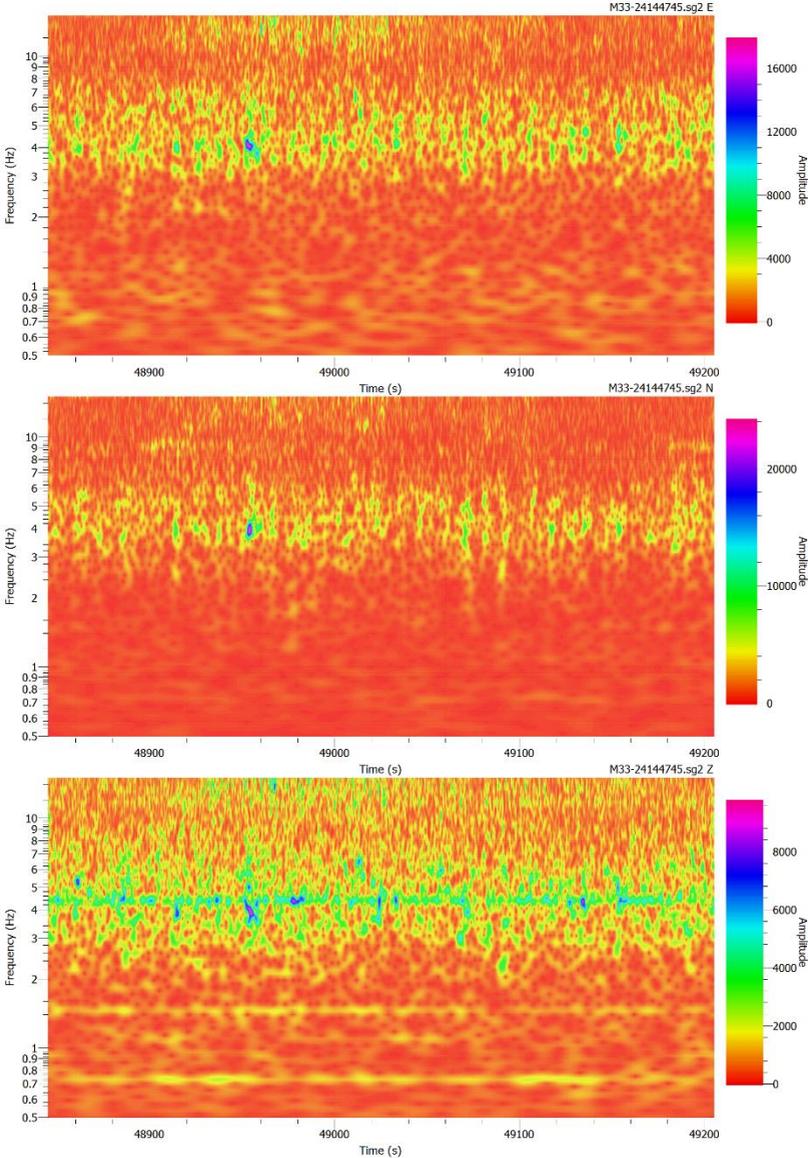
Hasil TFA M28



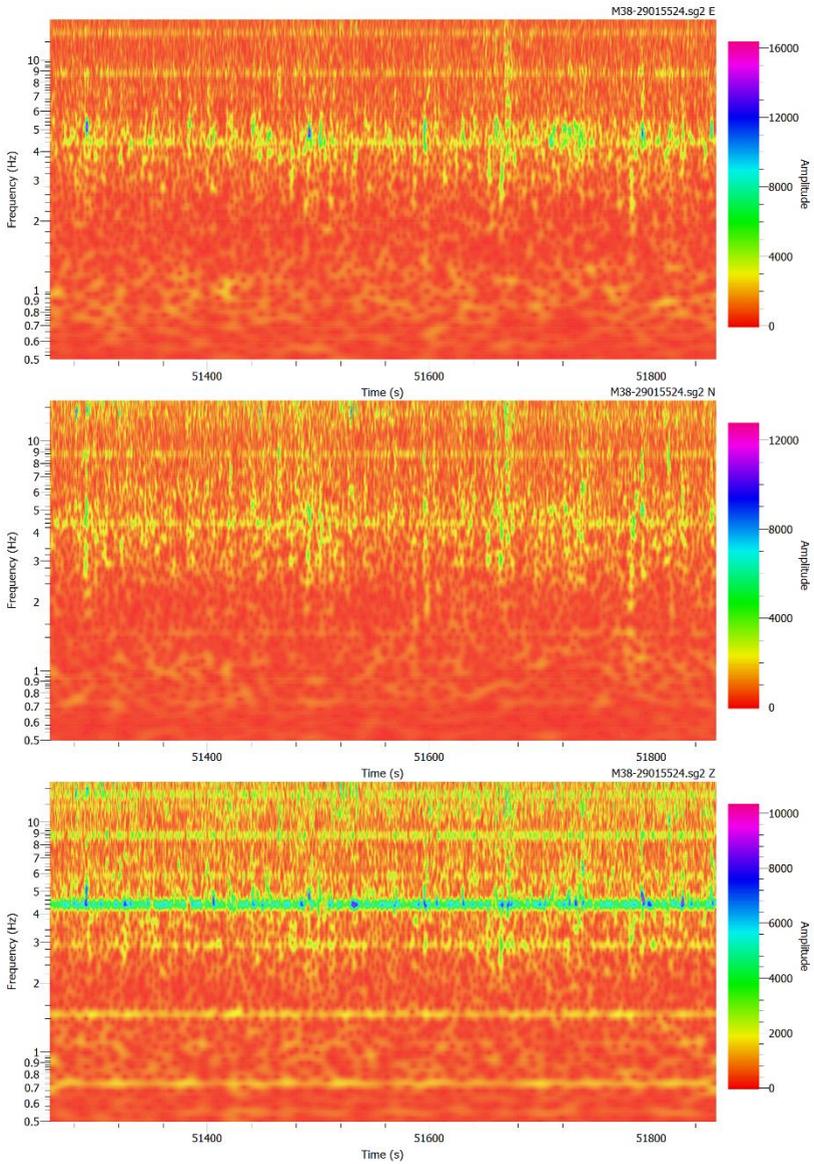
Hasil TFA M29



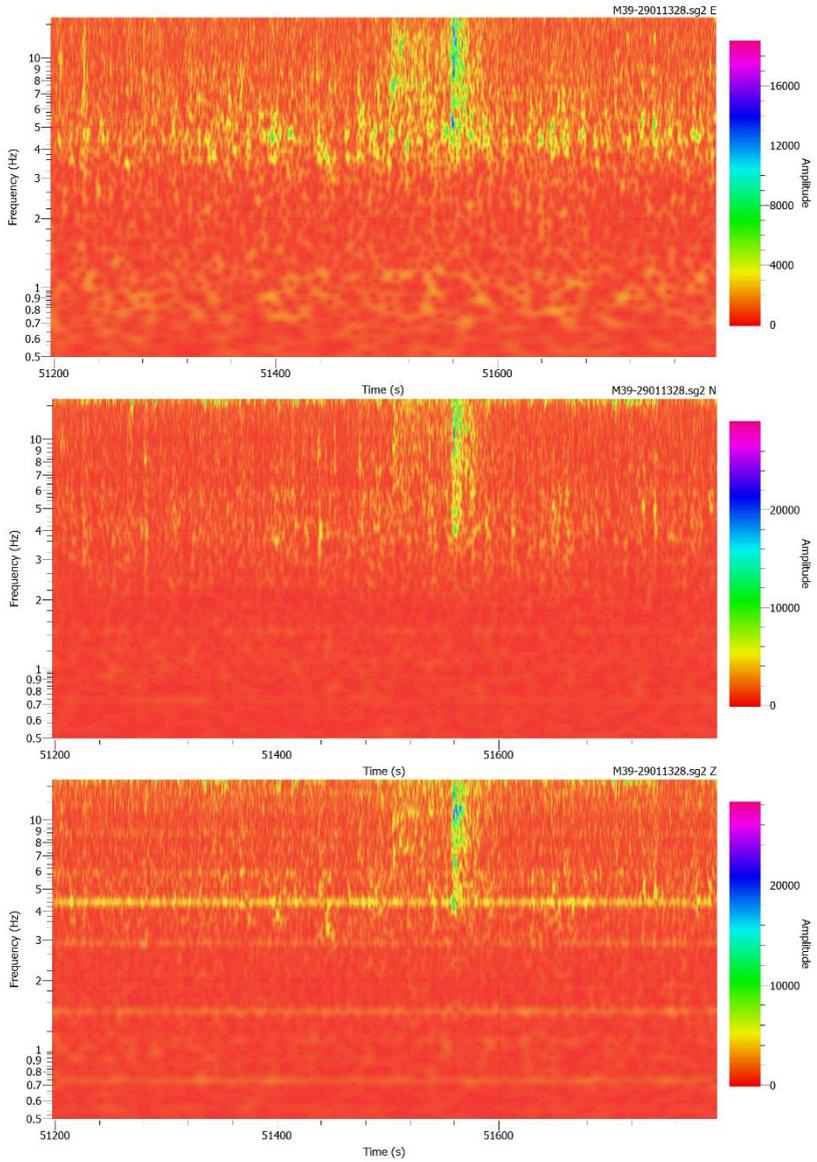
Hasil TFA M33



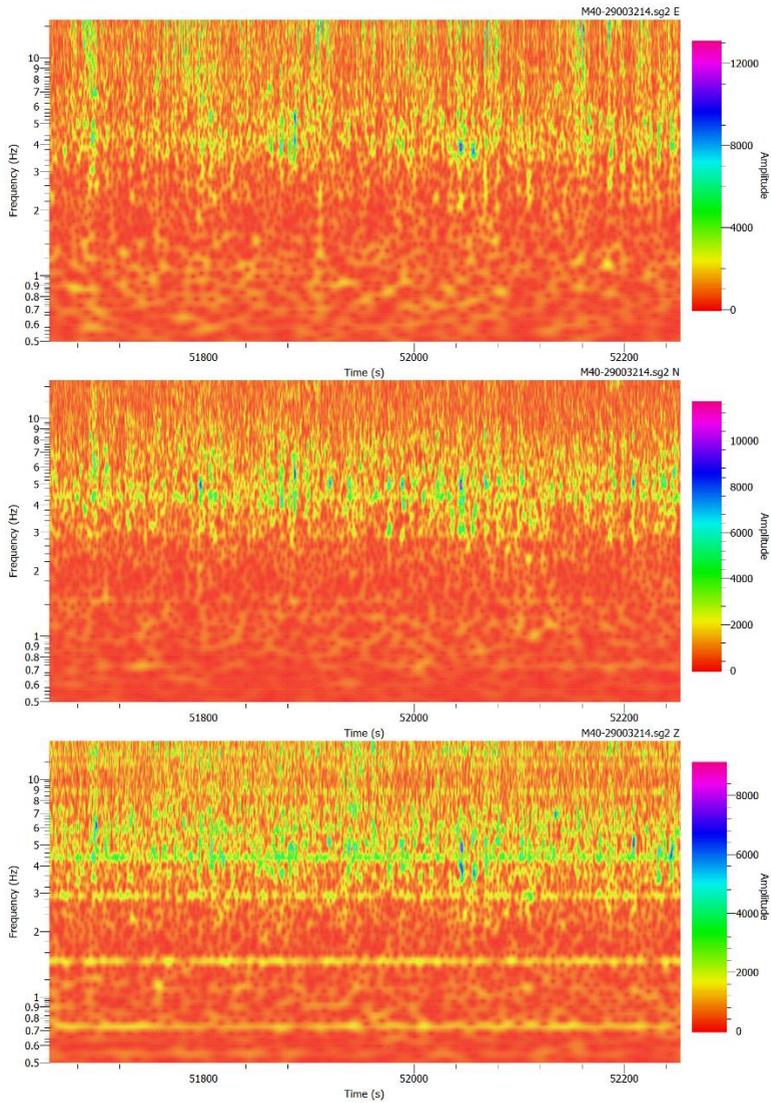
Hasil TFA M38



Hasil TFA M39



Hasil TFA M40



BIODATA PENULIS



Maulana Ibnu Umar Saif Abdullah lahir di Banyuwangi, 15 April 1996 merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di SDN 5 Sumbergondo (2002-2008), SMPN 1 Genteng (2008-2011), dan SMAN 1 Genteng (2011-2014). Penulis masuk di Departemen Teknik Geofisika ITS pada tahun 2014. Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS penulis mendapatkan banyak pengalaman berorganisasi, dimulai dari menjadi staf Departemen *Event* UKM Karate-Do ITS (2015-2016), menjadi staf Divisi *Islamic Centre* KMTG Al Ardh (2015-2016), menjadi staf Departemen *Event* Lembaga Minat Bakat ITS (2015-2016), menjadi staf Biro Geopreneur HMTG ITS (2016-2017), menjadi Kepala Divisi *Islamic Centre* KMTG Al Ardh (2016-2017), dan menjadi Wakil Ketua UKM Karate-Do ITS (2016-2017). Selain aktif dalam organisasi, penulis juga memiliki pengalaman dalam bidang kepanitiaan seperti menjadi staf Departemen Logistik dalam acara *Integrated Petroleum Exploration and Exploitation* (IPEE) (2016), menjadi staf Divisi *Event* pada acara *Geophysics Atmosphere* (GEOSPHERE ITS) (2016), dan menjadi panitia penyelenggara POMITS cabang Karate (2017).

Pada bidang akademik selain perkuliahan di kampus, penulis juga pernah mengikuti beberapa pelatihan antara lain *Petrophysics Training 'Fundamental Logging Tools and Basic Log Interpretation'* (2016), kuliah lapangan geologi di LIPI Geologi Karangsembung, Kebumen (2016) dan kuliah lapangan geologi di Kabuh, Jombang (2015). Selain itu, penulis juga pernah mengikuti *On Job Training* di PT. TOTAL EP Indonesia pada tahun 2017 sebagai *geophysicist* untuk pengembangan proyek *South Mahakam*.

