



**TUGAS AKHIR - RF141501**

**KARAKTERISASI DATA MIKROTREMOR BERDASARKAN ANALISIS KURVA HVSR, *PARTICLE MOTION*, DAN *TIME FREQUENCY ANALYSIS* PADA SISTEM SUNGAI KEDUNG BANTENG, PACITAN, JAWA TIMUR**

**PAUL CHEMISTRA**

**NRP. 3713100053**

**DOSEN PEMBIMBING:**

**Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.**

**NIP. 19690906 199702 1 001**

**Dr. Widya Utama, DEA**

**NIP. 19611024 198803 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA**

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA 2018**



**TUGAS AKHIR - RF141501**

**KARAKTERISASI DATA MIKROTREMOR BERDASARKAN  
ANALISIS KURVA HVSR, *PARTICLE MOTION*, DAN *TIME  
FREQUENCY ANALYSIS* PADA SISTEM SUNGAI KEDUNG  
BANTENG, PACITAN, JAWA TIMUR**

PAUL CHEMISTRA

NRP. 3713100053

DOSEN PEMBIMBING:

Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.

NIP. 19690906 199702 1 001

Dr. Widya Utama, DEA

NIP. 19611024 198803 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA 2018



**UNDERGRADUATE THESIS - RF141501**

**CHARACTERIZATION OF MICROTREMOR DATA BASED ON  
HVSr CURVES ANALYSIS, PARTICLE MOTION, AND TIME  
FREQUENCY ANALYSIS AT KEDUNG BANTENG RIVER  
SYSTEM, PACITAN, EAST JAVA**

**PAUL CHEMISTRA**

**NRP. 3713100053**

**SUPERVISOR LECTURER:**

**Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.**

**NIP. 19690906 199702 1 001**

**Dr. Widya Utama, DEA**

**NIP. 19611024 198803 1 001**

**DEPARTEMENT OF GEOPHYSICAL ENGINEERING**

**FACULTY OF CIVIL ENVIROMENTAL AND GEOSCIENCE**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA 2018**

*Halaman ini sengaja dikosongka*

# LEMBAR PENGESAHAN

## Laporan Tugas Akhir

Diajukan Sebagai Prasyarat Mata Kuliah Tugas Akhir pada  
Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 15 Januari 2018

Menyetujui,

Pembimbing I

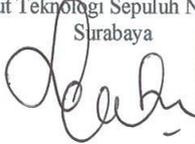
Pembimbing II



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

Dr. Widya Utama, DEA  
NIP. 19611024 198803 1 001

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



Dr. Avi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.  
NIP. 19690906 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 **“Karakterisasi Data Mikrotremor Berdasarkan Analisis Kurva HVSR, *Particle Motion*, dan *Time Frequency Analysis* pada Sistem Sungai Kedung Banteng, Pacitan, Jawa Timur”** 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, 15 Januari 2018

Paul Chemistra  
NRP. 3713100053

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# KARAKTERISASI DATA MIKROTREMOR BERDASARKAN ANALISIS KURVA HVSR, *PARTICLE MOTION*, DAN *TIME FREQUENCY ANALYSIS* PADA SISTEM SUNGAI KEDUNG BANTENG, PACITAN, JAWA TIMUR

Nama Mahasiswa : Paul Chemistra  
NRP : 3713100053  
Jurusan : Teknik Geofisika FTSLK-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.  
NIP. 19690906 199702 1 001  
Dr. Widya Utama, DEA.  
NIP. 19611024 198803 1 001

## ABSTRAK

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mengarakterisasi data mikrotremor pada sistem sungai di Kedung Banteng, Pacitan. Data mikrotremor digunakan untuk melihat respon nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) berdasarkan analisis kurva HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*), *particle motion*, maupun *Time Frequency Analysis* (TFA) baik di daerah yang dilewati sungai maupun daerah yang tidak dilewati sungai. Berdasarkan interpretasi data tersebut, dapat digunakan untuk mengidentifikasi sungai bawah permukaan. Berdasarkan analisis nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ), terdapat dua zona karakter yaitu zona I yang bernilai rendah dengan rentang nilai 3,05 – 5,45 Hz dan zona II yang bernilai tinggi dengan rentang nilai 10,4 – 13,25 Hz, berdasarkan analisis *particle motion* pada wilayah I yang merupakan daerah sekitar sungai menunjukkan karakter pola orientasi arah getaran Barat Laut-Tenggara (NW-SE) yang tegak lurus terhadap arah aliran sungai yang memiliki orientasi arah Timur-Barat (E-W), dan berdasarkan analisis *Time Frequency Analysis* (TFA) terdapat kontinuitas amplitudo di daerah yang dialiri sungai dengan nilai amplitudo 2.000 -45.000 dB dengan rentang frekuensi 4-5 Hz pada komponen Z (Vertikal).

Kata kunci: *HVSR, Particle Motion, Time Frequency Analysis*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **CHARACTERIZATION OF MICROTREMOR DATA BASED ON HVSR CURVES ANALYSIS, PARTICLE MOTION, AND TIME FREQUENCY ANALYSIS AT KEDUNG BANTENG RIVER SYSTEM, PACITAN, EAST JAVA**

Name : Paul Chemistra  
NRP : 3713100053  
Department : Teknik Geofisika FTSLK-ITS  
Supervisor Lecturer : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.  
NIP. 19690906 199702 1 001  
Dr. Widya Utama, DEA.  
NIP. 19611024 198803 1 001

## **ABSTRACT**

This thesis research aims to characterize microtremor data at Kedung Banteng river system, Pacitan. Microtremor data is used to see the response of dominant frequency values ( $f_0$ ) based on HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) curves analysis, particle motion, and Time Frequency Analysis (TFA) either in areas passed by river or non-river area. Based on the data interpretation, it can be used to identify subsurface streams. Based on dominant frequency values ( $f_0$ ) analysis, there are two character zones of the low value I zone with a range of values from 3.05 to 5.45 Hz and a high value II zone with a range of values ranging from 10.4 to 13.25 Hz, based on particle motion analysis in region I which is the area around the river shows the character of Orientation orientation pattern of West-Southeast Ocean (NW-SE) that is perpendicular to the direction of river flow that has orientation of East-West direction (EW), and based on Time Frequency Analysis (TFA) there is continuity of amplitude in the rivered region with an amplitude value of 2,000 -45,000 dB with a frequency range of 4-5 Hz on component Z (Vertical).

Keywords: *HVSR, Particle Motion, Time Frequency Analysis*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas kasih dan penyertaan-Nya laporan tugas akhir yang berjudul “Karakterisasi Data Mikrotremor Berdasarkan Analisis Kurva HVSR, *Particle Motion*, dan *Time Frequency Analysis* (TFA) pada Sistem Sungai Kedung Banteng, Pacitan, Jawa Timur” dapat terselesaikan dengan baik.

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

1. Ayah, Bunda, Kak Sara, dan Uthe untuk kasih sayang, doa, dan dukungan selama mengerjakan tugas akhir dan menjalani sidang tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T dan Bapak Dr. Widya Utama, DEA selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II yang telah memberikan masukan ilmu dan juga memberikan penelitian ke daerah Pacitan sekaligus mengakomodasi penelitian dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Firman Syaifuddin, S.Si., MT. yang telah membantu memberikan wawasan dan ide tentang metode yang digunakan pada tugas akhir ini.
4. Tim eksplorasi Pacitan (Ikmal, Naufal, Adib, Diptya, Wawan, Robi, Nizar, Pegri, Ujang) yang telah meluangkan waktu dan tenaga membantu akuisi data di Pacitan serta Pak Nardi atas bantuannya.
5. Nathasya, Ais, Dara, Nindy, Secangkir Kopi TG (Yayak, Wawan, Dwi, Tama, Pegri, Robi, Faisol), Agus, dan Om Heri atas doa dan dukungannya dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak membantu selama menjalankan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
7. Seluruh teman-teman TG 2 dan juga TG 3, TG 4, dan TG 5 atas semangat dan dukungannya serta semua pihak yang telah membantu yang tidak disebutkan satu per satu.

Penelitian tugas akhir ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu diharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 15 Januari 2018

**Paul Chemistra**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
BAB II DASAR TEORI.....	3
2.1 Geologi Regional Kabupaten Pacitan .....	3
2.2 Klasifikasi Daerah Karst Pacitan .....	8
2.3 Hidrologi Karst .....	10
2.3.1 Sistem Hidrologi Akuifer Karst .....	13
2.4 Kondisi Umum Wilayah Kabupaten Pacitan .....	15
2.4.1 Letak Geografis dan Topografi .....	17
2.4.2 Hidrologi .....	18
2.5 Gelombang Mikrotremor .....	18
2.6 <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i> (HVSr).....	19
2.7 Pergerakan Partikel ( <i>Particle Motion</i> ) .....	20
2.8 <i>Time Frequency Analysis</i> (TFA).....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	23
3.1 Lokasi Penelitian .....	23
3.2 Instrumen Penelitian .....	26

3.3 Desain Akuisisi .....	27
3.4 Diagram Alir .....	28
3.5 Pengolahan Data.....	29
3.5.1 Pengolahan Data HVSR .....	29
3.5.1.1 <i>Input Data Awal</i> .....	30
3.5.1.2 <i>Input Raw Data</i> pada Easy <i>HVSR</i> .....	30
3.5.1.3 <i>Window Selection</i> .....	31
3.5.1.4 <i>Manual Selection</i> (Menghilangkan <i>Noise</i> ) .....	31
3.5.1.5 <i>Spectral Analysis</i> .....	33
3.5.1.6 Analisis Kurva HVSR .....	33
3.5.1.7 Pembuatan Peta Kontur Nilai Frekuensi Dominan ( $f_0$ ) .....	34
3.5.2 Pengolahan Data <i>Particle Motion</i> .....	35
3.5.2.1 <i>Input Data Awal</i> .....	35
3.5.2.2 Kalibrasi Komponen Sinyal .....	35
3.5.2.3 Analisa Pergerakan Partikel ( <i>Particle Motion</i> ) .....	36
3.5.3 Pengolahan Data <i>Time Frequency Analysis</i> (TFA).....	38
3.5.3.1 Analisis Amplitudo pada TFA .....	38
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	41
4.1 Hasil Data Frekuensi Dominan ( $f_0$ ) .....	41
4.2 Hasil Data Pergerakan Partikel ( <i>Particle Motion</i> ).....	43
4.2.1 Hasil Data <i>Particle Motion</i> Daerah Sekitar Sungai .....	44
4.2.2 Hasil Data <i>Particle Motion</i> Daerah Jalan dan Bukit.....	47
4.2.3 Hasil Data <i>Particle Motion</i> Daerah Bukit di Atas Sungai .....	50
4.3 Hasil Data <i>Time Frequency Analysis</i> (TFA) .....	51
4.3.1 Hasil Data TFA Daerah Sekitar Sungai .....	53
4.3.2 Hasil Data TFA Daerah Jalan dan Bukit.....	55
4.3.3 Hasil Data TFA Daerah Bukit di Atas Sungai .....	59
4.4 Pembahasan.....	61
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	67

5.1 Kesimpulan .....	67
5.2 Saran .....	67
DAFTAR PUSTAKA .....	69
LAMPIRAN .....	71
BIODATA PENULIS .....	83

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fisiografi bagian tengah dan timur Pulau Jawa (Van Bemmelen, 1949).....	3
Gambar 2.2 Peta geologi Kabupaten Pacitan (Peta Geologi Lembar Pacitan, Ponorogo, Surakarta Skala 1: 100.000, 1992) .....	5
Gambar 2.3 Tatanan stratigrafi Pegunungan Selatan (Karlina Triana, 2013) .....	6
Gambar 2.4 Kegel Karst (a) foto udara dan (b) lapangan (dokumentasi survey) .....	10
Gambar 2.5 Siklus hidrologi ( <a href="http://www.ecn.purdue.edu/.../gishyd.html">www.ecn.purdue.edu/.../gishyd.html</a> ) .....	11
Gambar 2.6 Landform karst dalam ilmu tanah ( <a href="http://www.ecn.purdue.edu/.../gishyd.html">www.ecn.purdue.edu/.../gishyd.html</a> ) .....	12
Gambar 2.7 Drainase bawah permukaan di daerah karst ( <a href="http://www.eccentrix.com/">http://www.eccentrix.com/</a> ).....	12
Gambar 2.8 Sistem aliran internal pada akuifer karst (White, 1968).....	13
Gambar 2.9 Sistem aliran <i>conduit</i> vs sistem aliran <i>diffuse</i> (White, 1988) .....	14
Gambar 2.10 Peta administratif dan DAS Kabupaten Pacitan (Sumber: Pemkab Pacitan, 2009) .....	16
Gambar 2.11 Peta topografi daerah penelitian di Pacitan .....	17
Gambar 2.12 Analisa pergerakan partikel (Geopsy,2017).....	20
Gambar 3.1 Peta lokasi penelitian .....	23
Gambar 3.2 Luweng Kuniran I (Dokumentasi Survey) .....	24
Gambar 3.3 Luweng Kuniran II (Dokumentasi Survey).....	25
Gambar 3.4 Luweng Kedung Banteng (Dokumentasi Survey).....	26
Gambar 3.5 Peta lokasi akuisisi data .....	27
Gambar 3.6 Input <i>raw data</i> pada Easy HVSR .....	31
Gambar 3.7 <i>Selection Window</i> .....	31
Gambar 3.8 <i>Frequency domain window</i> .....	32

Gambar 3.9 <i>Manual selection window</i> .....	32
Gambar 3.10 <i>Spectral analysis window</i> .....	33
Gambar 3.11 <i>Spectrum H/V window</i> .....	33
Gambar 3.12 Nilai frekuensi dominan .....	34
Gambar 3.13 Pembuatan peta kontur dengan Surfer 11 .....	34
Gambar 3.14 Data akuisisi yang <i>diinput</i> .....	35
Gambar 3.15 Tampilan kalibrasi pada Geopsy .....	36
Gambar 3.16 Fitur <i>particle motion</i> pada Geopsy .....	36
Gambar 3.17 <i>Particle motion toolbox</i> .....	37
Gambar 3.18 Fitur <i>time frequency analysis</i> pada Geopsy .....	38
Gambar 3.19 Panel TFA <i>toolbox</i> .....	39
Gambar 3.20 Rentang waktu yang tidak mengalami pemotongan <i>window</i> .....	39
Gambar 3.21 Hasil <i>Time Frequency Analysis</i> pada satu data.....	40
Gambar 4.1 <i>Overlay</i> peta kontur $f_0$ dengan peta lokasi di Google Earth.....	42
Gambar 4.2 Resultan <i>particle motion</i> pada titik KALIBRASI.....	43
Gambar 4.3 Resultan <i>particle motion</i> pada titik TA1.....	44
Gambar 4.4 Resultan <i>particle motion</i> pada titik TA8.....	44
Gambar 4.5 Resultan <i>particle motion</i> pada titik TA9.....	45
Gambar 4.6 Resultan <i>particle motion</i> pada titik TA10.....	45
Gambar 4.7 Resultan <i>particle motion</i> pada titik TA13.....	46
Gambar 4.8 Resultan <i>particle motion</i> pada titik TA3.....	47
Gambar 4.9 Resultan <i>particle motion</i> pada titik TA4.....	47
Gambar 4.10 Resultan <i>particle motion</i> pada titik TA5.....	48
Gambar 4.11 Resultan <i>particle motion</i> pada titik TA7.....	48
Gambar 4.12 Resultan <i>particle motion</i> pada titik TA11.....	49
Gambar 4.13 Resultan <i>particle motion</i> pada titik TA12.....	50
Gambar 4.14 Hasil TFA komponen E pada titik KALIBRASI .....	51
Gambar 4.15 Hasil TFA komponen N pada titik KALIBRASI .....	52

Gambar 4.16 Hasil TFA komponen Z pada titik KALIBRASI .....	52
Gambar 4.17 Hasil TFA komponen E pada titik TA8 .....	53
Gambar 4.18 Hasil TFA komponen N pada titik TA8 .....	54
Gambar 4.19 Hasil TFA komponen Z pada titik TA8 .....	54
Gambar 4.20 Hasil TFA komponen E pada titik TA4 .....	55
Gambar 4.21 Hasil TFA komponen N pada titik TA4 .....	56
Gambar 4.22 Hasil TFA komponen Z pada titik TA4 .....	56
Gambar 4.23 Hasil TFA komponen E pada titik TA5 .....	57
Gambar 4.24 Hasil TFA komponen N pada titik TA5 .....	58
Gambar 4.25 Hasil TFA komponen Z pada titik TA5 .....	58
Gambar 4.26 Hasil TFA komponen E pada titik TA12 .....	59
Gambar 4.27 Hasil TFA komponen N pada titik TA12 .....	59
Gambar 4.28 Hasil TFA komponen Z pada titik TA12 .....	60
Gambar 4.29 Zonasi berdasarkan nilai $f_0$ .....	61
Gambar 4.30 Penampang resistivitas daerah sungai Kuniran II (Fakhriar Naufaldi, 2017) .....	63
Gambar 4.31 Rekapitulasi particle motion 12 titik pengukuran .....	64
Gambar 4.32 Peta korelasi <i>Particle Motion</i> .....	65

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.2 Data awal .....	30
Tabel 4.1 Rekapitulasi nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) .....	41

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Karst adalah suatu bentang alam yang khas dari muka bumi maupun bawah permukaan, yang terutama dibentuk oleh pelarutan dan pengendapan batuan karbonat oleh aliran air tanah (Maryanto, 2006). Secara geomorfologi daerah karst dapat dicirikan oleh adanya goa atau luweng serta cekungan tertutup dan atau lembah kering dalam berbagai ukuran bentuk, minimnya sungai permukaan, dan berkembangnya jalur - jalur sungai bawah permukaan (sungai bawah tanah). Bentangan karst di Indonesia salah satunya adalah Kawasan Karst Gunung Sewu. Kabupaten Pacitan merupakan bagian kecil dari Kawasan Karst Gunung Sewu yang membentang dari Pacitan Barat – Pacitan Timur.

Pada daerah Pacitan Barat terdapat luweng atau goa yang airnya digunakan sebagai sumber air bersih untuk masyarakat daerah sekitar yang bernama luweng Kedung Banteng yang dijadikan sumber air baku PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) Kedung Banteng. Namun belum diketahui sumber air ataupun sistem aliran sungai bawah permukaan pada luweng Kedung Banteng. Oleh sebab itu, dikembangkan salah satu metode geofisika yaitu metode mikrotremor HVSZ (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk mengidentifikasi sistem aliran sungai bawah tanah 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.

Sungai bawah permukaan sebagai sumber getaran yang menghasilkan gelombang *seismic tremor* berorde mikro dan juga memiliki karakter nilai frekuensi serta *particle motion* yang khas. Berdasarkan penelitian Kholis Nurhanafi (2016) di Kawasan Karst Gunung Sewu, diketahui bahwa jalur sistem Sungai Bawah Tanah Kawasan Karst Gunung Sewu daerah Bribin, Jawa Tengah memiliki nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) yang tinggi yaitu pada rentang nilai 5,5 Hz–15,5 Hz dibandingkan frekuensi dominan tanah atau batuan di atasnya yang berada pada rentang nilai 0,3 Hz-1,4 Hz. Oleh karena itu, digunakan metode mikrotremor untuk mengarakterisasi sistem sungai Kedung Banteng dan membandingkan apakah daerah Pacitan memiliki karakter yang sama dengan daerah Bribin yang sama – sama merupakan Kawasan Karst Gunung Sewu.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana mengidentifikasi sistem sungai bawah permukaan Kedung Banteng menggunakan data mikrotremor.

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Zona target yang diteliti pada studi ini adalah sistem sungai Kedung Banteng, Desa Sekar, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Pacitan, Jawa Timur.
2. Data yang digunakan adalah mikrotremor dengan menganalisis kurva HCSR, *particle motion*, dan *Time Frequency Analysis*.

## 1.3 Tujuan

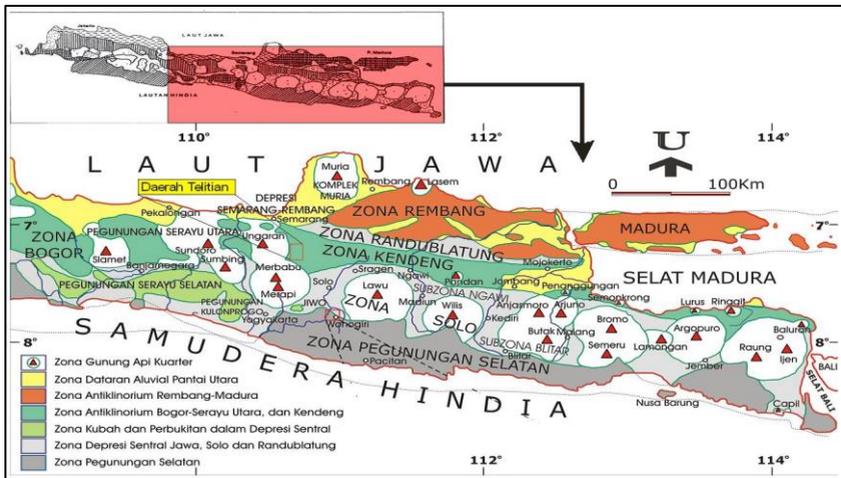
Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah karakterisasi data mikrotremor sistem sungai Kedung Banteng berdasarkan analisis kurva HCSR, *particle motion*, dan *Time Frequency Analysis*.

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Geologi Regional Kabupaten Pacitan

Wilayah Jawa Tengah dan Jawa Timur secara fisiografi dapat dikelompokkan kedalam lima zona (van Bemmelen, 1949), dari selatan ke utara (Gambar 2.1):

1. Zona Pegunungan Selatan
2. Zona Solo
3. Zona Kendeng
4. Zona Randublatung
5. Zona Rembang

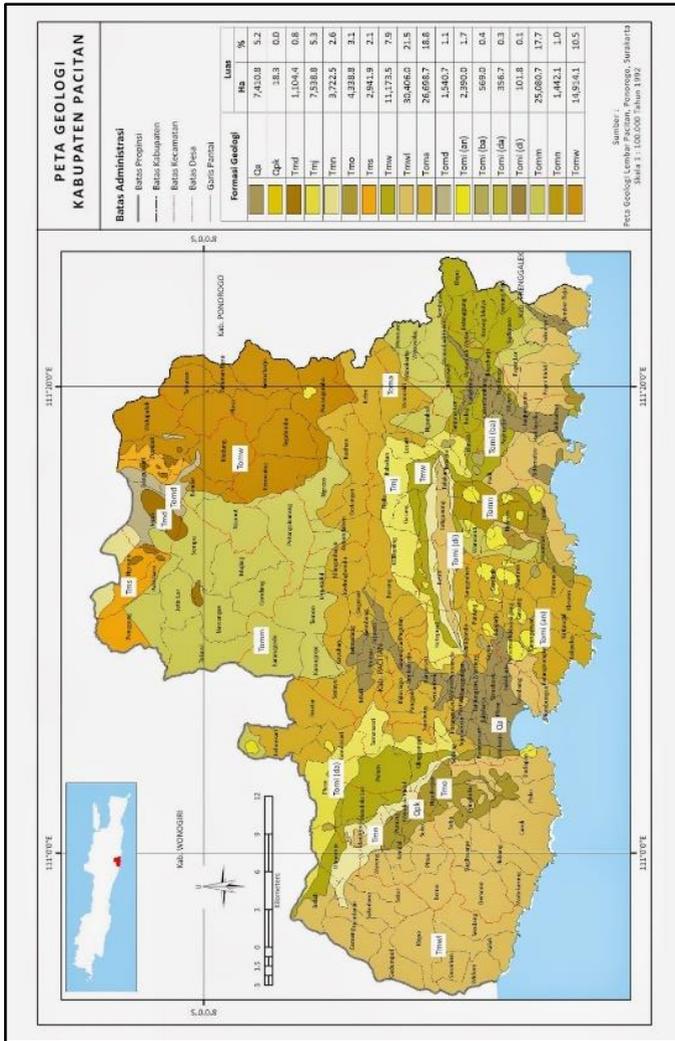


Gambar 2.1 Fisiografi bagian tengah dan timur Pulau Jawa (Van Bemmelen, 1949)

Berdasarkan gambar 2.1 daerah Pegunungan Selatan Jawa secara fisiografi termasuk ke dalam lajur pegunungan selatan Jawa (Bemmelen, 1949), sedangkan secara tektonik global diperkirakan pada cekungan antar busur sampai busur vulkanik. Daerah Pegunungan Selatan membujur mulai dari Yogyakarta ke arah timur, Wonosari, Wonogiri, Pacitan menerus ke daerah Malang selatan, terus ke daerah Blambangan. Berdasarkan letak zona Pegunungan Selatan Jawa Timur, bentang alam yang terbentuk merupakan rangkaian pegunungan yang memanjang relatif barat - timur dan jenis litologi penyusunnya yang didominasi oleh material – material vulkanik klastik.

Zona Pegunungan Selatan Jawa terbentang dari wilayah Jawa Tengah, pada wilayah selatan Yogyakarta lebarnya kurang lebih 55 km, dan pada wilayah Jawa Timur, lebarnya kurang lebih 25 km, di selatan Blitar. Zona Pegunungan Selatan dibatasi oleh Dataran Yogyakarta- Surakarta di sebelah barat dan utara, sedangkan di sebelah timur oleh Waduk Gajahmungkur, Wonogiri dan di sebelah selatan oleh Lautan India. Di sebelah barat, antara Pegunungan Selatan dan Dataran Yogyakarta dibatasi oleh aliran Kali Opak, sedangkan di bagian utara berupa gawir Baturagung. Gawir merupakan tebing curam yang terbentuk akibat sesar yang baru yang biasanya disertai perpindahan secara vertikal. Gawir yang aktif biasanya terbentuk melalui perpindahan tektonik, seperti saat gempa bumi mengubah ketinggian permukaan, dan dapat disebabkan oleh jenis sesar manapun, termasuk sesar yang pergerakannya horizontal. Bentuk Pegunungan Selatan ini membujur barat-timur sepanjang kurang lebih 50 km dan ke arah utara-selatan sepanjang kurang lebih 40 km (Bronto dan Hartono, 2001).

Zona Pegunungan Selatan terbagi menjadi tiga subzona, yaitu Subzona Baturagung, Subzona Wonosari dan Subzona Gunung Sewu. Subzona Wonosari merupakan dataran tinggi ( $\pm 190$  m) 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. Bentang alam karst ini membentang dari pantai Parangtritis di bagian barat hingga Pacitan di sebelah timur.



Gambar 2.2 Peta geologi Kabupaten Pacitan (Peta Geologi Lembar Pacitan, Ponorogo, Surakarta Skala 1 : 100.000, 1992)

Kondisi geologi DAS Grindulu Kabupaten Pacitan telah digambarkan dalam sebagian lembar-lembar peta geologi yang dibuat oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi yang meliputi peta geologi lembar Ponorogo/ Madiun, Tulungagung, dan Pacitan. Berdasarkan keempat lembar peta geologi tersebut, jenis batuan yang terdapat di DAS Grindulu Kabupaten Pacitan terdiri atas batuan terobosan, batuan gunung api, batuan sedimen, dan endapan permukaan. Secara stratigrafi, Zona Pegunungan Selatan pada umumnya

merupakan blok yang terangkat dan miring ke arah selatan. Batas utaranya ditandai gawir (*escarpment*) yang cukup kompleks. Lebar maksimum Pegunungan Selatan ini 55 km di sebelah selatan Surakarta, sedangkan sebelah selatan Blitar hanya 25 km. Daerah Parangtritis hingga Pacitan merupakan tipe karst (kapur) yang disebut Pegunungan Seribu atau Gunung Sewu, dengan luas kurang lebih 1400 km (Lehmann, 1939). Sedangkan antara Pacitan dan Popoh selain tersusun oleh batu gamping (*limestone*) juga tersusun oleh batuan hasil aktifitas vulkanis berkompposisi asam-basa antara lain granit, andesit dan dasit (Van Bemmelen, 1949).

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

Gambar 2.3 Tatanan stratigrafi Pegunungan Selatan (Karlina Triana, 2013)

Stratigrafi Pegunungan Selatan di Jawa Timur, telah diteliti oleh Surono (1992) dengan daerah telitian di daerah Punung dan sekitarnya- Pacitan. Susunan litostratigrafinya sebagai berikut (dari tua ke muda): Kelompok Formasi Wungkal Gamping, Formasi Kebo Butak, Formasi Nglanggran, Formasi Wonosari.

### **a) Formasi Wungkal Gamping**

Formasi Wungkal Gamping merupakan satuan batuan tertua yang tersingkap di daerah ini. Surono (1992), pencetus nama Formasi Wungkal Gamping menyebutkan bahwa satuan ini tersusun oleh dasit, tonalit, tuf dasitan, serta andesit, dimana satuan ini diendapkan di lingkungan darat.

Samodaria dkk (1989 & 1991) membagi satuan yang bernama Formasi Wungkal Gamping ini menjadi dua satuan yaitu Formasi Arjosari yang terdiri dari perselingan batupasir dan breksi, yang diendapkan pada lingkungan laut dangkal, dan Formasi Mandalika yang tersusun oleh perselingan breksi, batupasir, serta lava bantal diendapkan pada lingkungan laut dalam. Terlepas dari perbedaan litologi, dan lingkungan pengendapan pada satuan yang bernama Formasi Wungkal Gamping ini, mempunyai penyebaran menempati morfologi terjal, dan berbukit-bukit. Oleh Sartono (1964), satuan ini merupakan bagian dari kelompok batuan *Old Andesit* (van Bemmelen, 1949), seperti halnya yang terdapat di Kulon Progo. Jadi secara umum Formasi Wungkal Gamping tersusun oleh satuan batuan vulkanik (intrusi), lava dan volkanoklastik (breksi, sisipan batupasir tufan).

### **b) Formasi Kebo Butak**

Dengan lokasi yang terletak antara Kali Jaten – Donorojo, Pacitan (Surono, 1992), formasi ini tersusun oleh konglomerat, batupasir kuarsa, batulempung (mengandung fosil *Gastrophoda*, *Pelecypoda*, *Coral*, *Bryozoa*, *Foraminifera*), dengan sisipan tipis lignit. Ketebalan satuan ini mencapai 20-150 m. Diendapkan pada lingkungan transisi – neritik tepi pada kala Oligosen Akhir-Miosen Awal.

### **c) Formasi Nglanggran**

Formasi Nglanggran. Lokasi tipenya adalah di Desa Nglanggran. Formasi ini terdiri dari breksi dengan sisipan batupasir tufaan, yang memperlihatkan sebagai endapan aliran gravitasi pada lingkungan laut. Formasi ini berumur Miosen Awal Miosen Tengah. Formasi ini juga tersebar luas dan memanjang dari Parangtritis di sebelah barat hingga Gunung Panggung di sebelah timur. Ketebalan formasi ini di dekat Nglihar sekitar 530 meter. Formasi ini secara tidak selaras ditindih oleh Formasi Oyo dan Formasi Wonosari. Dengan banyaknya fragmen andesit dan batuan beku luar berlubang serta mengalami oksidasi kuat berwarna merah bata maka diperkirakan lingkungan asal batuan gunungapi ini adalah darat hingga laut dangkal. Sementara itu, dengan ditemukannya fragmen batugamping terumbu, maka lingkungan pengendapan Formasi Nglanggran ini diperkirakan di dalam laut bagian bawah.

#### **d) Formasi Wonosari**

Formasi ini tersingkap baik di daerah Wonosari dan sekitarnya, membentuk morfologi karst, terdiri dari batugamping terumbu, batugamping bioklastik berlapis dan napal. Satuan batuan ini merupakan endapan karbonat paparan (*carbonate plateform*) pada 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 (Surono dkk, 1992).

#### **2.2 Klasifikasi Daerah Karst Pacitan**

Karst merupakan istilah dalam Bahasa Jerman yang diturunkan dari bahasa Slovenia (*kras*) yang berarti lahan gersang berbatu. Ford dan Williams (1989) 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 oleh:

1. terdapatnya cekungan tertutup dan atau lembah kering dalam berbagai ukuran dan bentuk,
2. langkanya atau tidak terdapatnya drainase/ sungai permukaan, dan
3. terdapatnya goa dari sistem drainase bawah tanah.

Karst tidak hanya terjadi di daerah berbatuan karbonat, tetapi terjadi juga di batuan lain yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder (kekar dan sesar intensif), seperti batuan gipsum dan batugaram. Namun demikian, Karena 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 yaitu relief pada bentang alam ini berada pada daerah yang berbatuan yang mudah larut, juga 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 kawasan karst merupakan kawasan yang mudah rusak. Batuan dasarnya mudah larut sehingga mudah sekali terbentuk goa-goa bawah tanah dari celah dan retakan. Mulai banyaknya permukiman 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. Ciri-ciri kawasan karst antara lain:

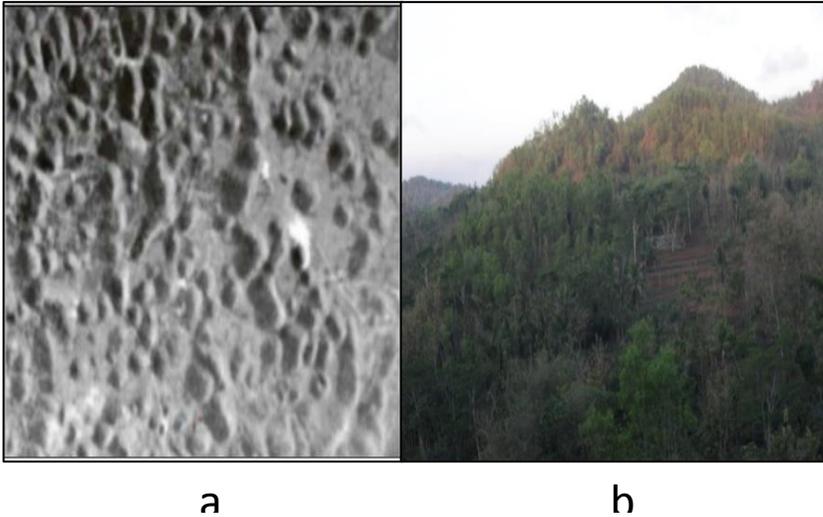
1. Terdapatnya sejumlah cekungan (depresi) dengan bentuk dan ukuran yang bervariasi, cekungan tersebut digenangi air atau tanpa air dengan kedalaman dan jarak yang berbeda-beda.
2. Bukit-bukit kecil dalam jumlah banyak yang merupakan sisi-sisi erosi akibat pelarutan kimia pada batu gamping, sehingga terbentuk bukit-bukit (*conical hills*).
3. Sungai-sungai tidak mengalami perkembangan pada permukaan. Sungai pada daerah Karst umumnya terputus-putus, hilang kedalam tanah dan begitu saja muncul dari dalam tanah.
4. Terdapatnya sungai-sungai di bawah permukaan, adanya goa-goa kapur pada permukaan atau di atas permukaan.
5. Terdapatnya endapan sedimen lumpur berwarna merah (*terrarosa*) yang merupakan endapan residual akibat pelapukan batu gamping.
6. Permukaan yang terbuka mempunyai kenampakan yang kasar, pecah-pecah atau lubang-lubang maupun runcing-runcing (*lapies*)
7. Banyaknya Stalaktit dan Stalakmit akibat dari air yang masuk ke lubang-lubang (*doline*) kemudian turun ke gua dan menetes dari atap gua ke dasar gua yang berubah jadi batuan.

Peneliti karst telah mencoba menjelaskan variasi karst dan mengklasifikasi tipe-tipe karst. Klasifikasi karst secara umum dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok:

- 1) Klasifikasi Cvijic (1914): klasifikasi yang didasarkan pada perkembangan.
- 2) Klasifikasi Gvozdeckij (1965): klasifikasi yang didasarkan pada morfologi.
- 3) Klasifikasi Sweeting (1965): klasifikasi yang didasarkan pada iklim.

Berdasarkan klasifikasi Cvijic (1914) atau klasifikasi yang didasarkan pada perkembangan, daerah Pacitan yang termasuk dalam Zona Pegunungan Selatan digolongkan sebagai holokarst. Holokarst merupakan karst dengan perkembangan paling sempurna, baik dari sudut pandang bentuklahannya maupun hidrologi bawah permukaannya. Karst tipe ini dapat terjadi bila perkembangan karst secara horisontal dan vertikal tidak terbatas; batuan

karbonat masif dan murni dengan kekar vertikal yang menerus dari permukaan hingga batuan dasarnya; serta tidak terdapat batuan impermeable yang berarti.



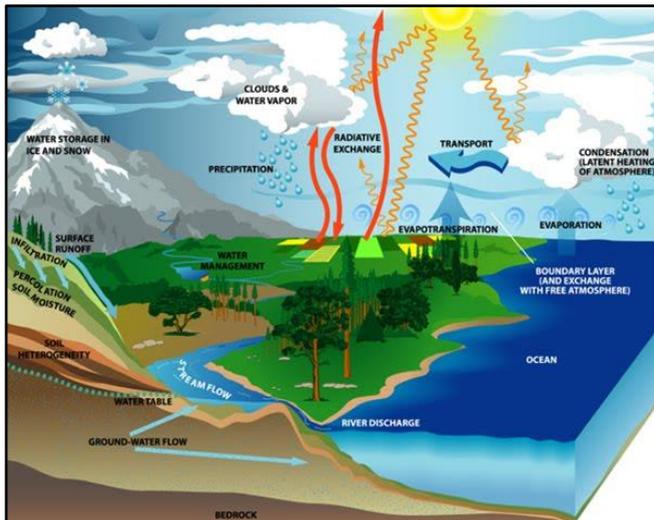
Gambar 2.4 Kegel Karst (a) foto udara dan (b) lapangan (dokumentasi survey)

Berdasarkan klasifikasi Gvozdeckij (1965) atau klasifikasi yang didasarkan pada morfologi, daerah Pacitan digolongkan sebagai *bare karst*. Bare karst ini merupakan tipe karst menurut Gvozdeckij yang serupa dengan holokarst menurut Cvijic. Berdasarkan klasifikasi Sweeting (1965) atau klasifikasi yang didasarkan pada iklim, daerah Pacitan digolongkan sebagai True Karst dan Kegelkarst. True Karst merupakan karst dengan perkembangan sempurna (*holokarst*). Karst yang sebenarnya harus merupakan karst dolin yang disebabkan oleh pelarutan secara vertikal. Sedangkan *Kegel karst* cirikan oleh kumpulan bukit-bukit berbentuk kerucut yang sambung menyambung. Sela antar bukit kerucut membentuk cekungan dengan bentuk seperti bintang yang dikenal dengan kockpit. Kockpit seringkali membentuk pola kelurusan sebagai akibat kontrol kekar atau sesar. Depresi atau kockpit yang terkontrol kekar atau sesar ini oleh Lemann disebut *gerichteter karst (karst oriente)*.

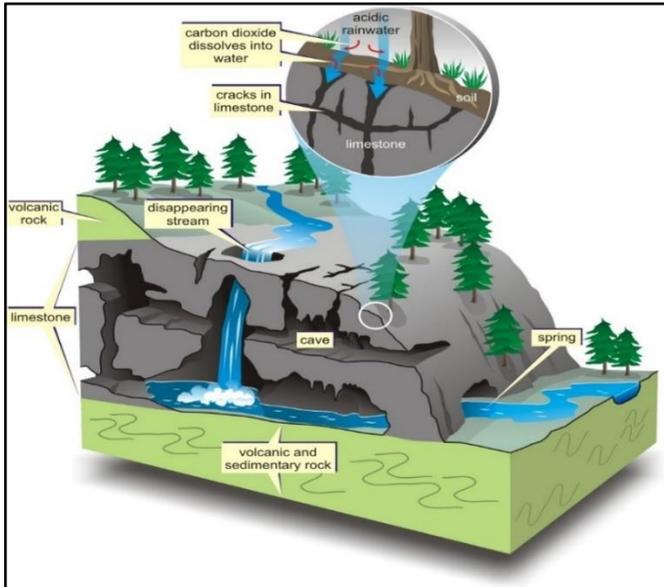
### 2.3 Hidrologi Karst

Hidrologi, menurut (Linsley, 1975) adalah cabang dari ilmu geografi fisik yang berurusan dengan air dimuka 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

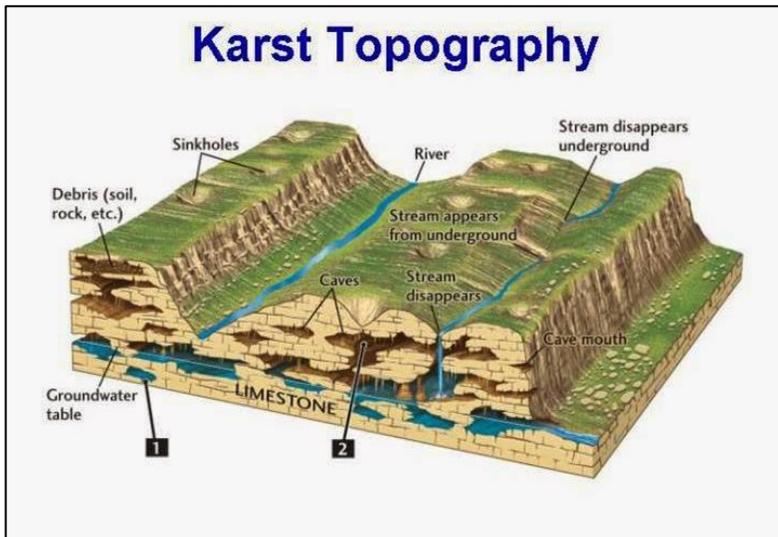
terhadap air, pengaruh fisik air terhadap daratan dan mempelajari hubungan air dengan kehidupan. Pada sisi yang lain, karst dikenal sebagai suatu kawasan yang unik dan dicirikan oleh topografi eksokarst seperti lembah karst, *doline*, *uvala*, *polje*, *karren*, kerucut karst dan berkembangnya sistem 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 faktor tertentu (Adji dan Suyono, 2004). 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.



Gambar 2.5 Siklus hidrologi ([www.ecn.purdue.edu/.../gishyd.html](http://www.ecn.purdue.edu/.../gishyd.html))



Gambar 2.6 Landform karst dalam ilmu tanah ([www.ecn.purdue.edu/.../gishyd.html](http://www.ecn.purdue.edu/.../gishyd.html))

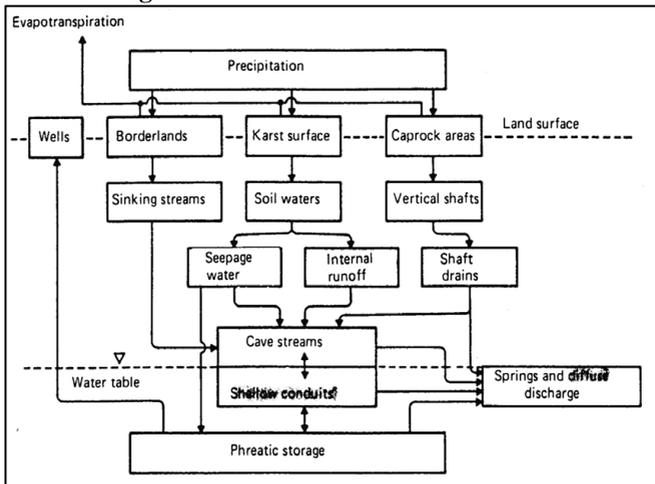


Gambar 2.7 Drainase bawah permukaan di daerah karst (<http://www.eccentrix.com/>)

Berdasarkan gambar 2.6 dan gambar 2.7 terlihat bahwa karena sifat batuan karbonat yang mempunyai banyak rongga percelahan dan mudah larut dalam air, maka sistem drainase permukaan tidak berkembang dan lebih didominasi oleh sistem drainase bawah permukaan. Sebagai contoh adalah sistem pergoaan yang kadang-kadang berair dan dikenal sebagai sungai bawah tanah. Secara definitif, air pada sungai bawah tanah di daerah karst boleh disebut sebagai airtanah merujuk definisi airtanah oleh Todd (1980) bahwa airtanah merupakan air yang mengisi celah atau pori-pori/rongga antar batuan dan bersifat dinamis. Sedangkan, air bawah tanah karst juga merupakan air yang mengisi batuan/percelahan yang banyak terdapat pada kawasan ini, walaupun karakteristiknya sangat berbeda dibandingkan dengan karakteristik airtanah pada kawasan lain.

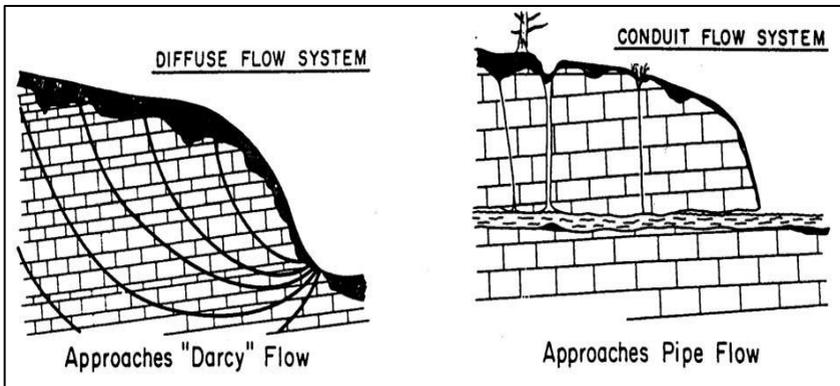
Jankowski (2001) mengatakan bahwa terdapat tiga komponen utama pada sistem hidrologi karst, yaitu: akuifer, sistem hidrologi permukaan, dan sistem hidrologi bawah permukaan. Di karst, cekungan bawah permukaan dapat diidentifikasi dengan mencari hubungan antara sungai yang tertelan (*swallow holes*) dan mata air. Tapi, secara umum batas antara DAS (Daerah Aliran Sungai) permukaan dan bawah permukaan adalah tidak sama. Sistem bawah permukaan, terutama yang memiliki kemiringan muka airtanah yang rendah dapat mempunyai banyak jalur dan *outlet* (mata air). Selanjutnya, karena terus berkembangnya proses pelarutan, muka airtanah, mataair dan jalur sungai bawah tanah di akuifer karst juga dapat berubah-ubah menurut waktu.

### 2.3.1 Sistem Hidrologi Akuifer Karst



Gambar 2.8 Sistem aliran internal pada akuifer karst (White, 1968)

Berdasarkan Gambar 2.8, bagian atas adalah permukaan tanah, dan diasumsikan memiliki tiga komponen daerah tangkapan air yaitu: dari formasi karst itu sendiri, daerah lain non-karst yang berdekatan (contoh: aliran *allogenic*), dan masukan dari bagian atas formasi karst (misal: sungai yang masuk/tertelan) atau masukan langsung secara vertikal. Sebagian hujan akan terevapotranspirasikan dan sisanya akan masuk ke akuifer karst sebagai limpasan *allogenic*, limpasan internal dan infiltrasi rekahan-rekahan kecil (*diffuse infiltration*). Hujan yang masuk harus menjenuhkan tanah dan zona rekahan/epikarst sebelum masuk ke zona *vadose*. Sungai yang tertelan dan masuk melalui ponor pada lembah/*doline* biasanya langsung membentuk lorong *conduit* dan dapat berkembang sebagai saluran terbuka atau pipa-pipa *vadose*. Selain itu, air yang dialirkan dari daerah tangkapan hujan atau dari akuifer yang bertengger diatas formasi karst (jika ada) biasanya akan langsung menuju zone *vadose* melalui lorong-lorong vertikal. Akhirnya, aliran tersebut dapat bergabung dengan lorong *conduit* dari masukan lain, dan ada pula yang menjadi mata air bila kondisi topografi memungkinkan. Imbuhan yang mempunyai sifat *diffuse* bergerak secara seragam kebawah melalui rekahan-rekahan yang tersedia (*fissure*). Jika sistem *diffuse* oleh *fissure* berkembang baik, maka dapat dipastikan bahwa proses infiltrasi pada zona epikarst berlangsung dengan baik. Pada karst yang berkembang baik, *fissure* sudah menjadi satu sistem dengan *conduit* dan memasok aliran airnya ke lorong-lorong *conduit*.



Gambar 2.9 Sistem aliran *conduit* vs sistem aliran *diffuse* (White, 1988)

Pada mulanya aliran yang bersifat *diffuse* lebih dominan melalui *fissure*/rekahan kecil yang berjumlah banyak dan rapat. Dengan terus berkembangnya proses solusional, jaringan *conduit* (lorong/pipa) mulai berkembang dan menyebabkan meningkatnya jumlah aliran. Pada masa tersebut dapat dikatakan bahwa sistem aliran yang berkembang adalah campuran (*mixed*) antara sistem *diffuse* dan *conduit*. Pada karst yang dewasa dan telah berkembang dengan baik

sistem conduit lebih dominan dan hamper tidak terdapat sistem diffuse. Selanjutnya, White (1988) membagi akuifer karst menjadi 3 model konseptual atas dasar sifat alirannya yaitu:

a. *Diiffuse-flow karst aquifer* atau akuifer dengan sistem aliran dominan *diffuse*. Akuifer ini tidak memiliki aktivitas pelarutan yang baik, sehingga dapat dikategorikan sebagai akuifer homogen dan sistem alirannya mendekati hukum Darcy. Akuifer ini biasanya terdapat pada akuifer karbonat yang tidak mudah larut, misalnya dolomit. Air bergerak sepanjang rekahan-rekahan kecil yang hanya sedikit terpengaruh oleh aktivitas pelarutan. Jika terdapat goa, biasanya kecil dan tidak berhubungan satu sama lain. Output air biasanya juga hanya memiliki debit dalam jumlah yang kecil sebagai mata air atau rembesan. Muka airtanah dapat dengan mudah didefinisikan dan karena sebagian *recharge* adalah melalui *fracture*, fluktuasinya tidak terlalu besar dan kedudukan muka airtanah (*water table*) dapat sedikit diatas base *level* regional.

b. *Free-flow karst aquifer*. Akuifer ini juga memiliki aliran tipe diffuse, tetapi lorong-lorong solusional lebih dominan dimana sebagian besar aliran adalah melalui lorong-lorong conduit yang ada. Airtanah karst pada akuifer ini sangat terkontrol oleh distribusi dan arah dari lorong-lorong tersebut. Gambar 2.9 mengilustrasikan bahwa pendekatan hukum aliran yang digunakan adalah *pipe flow* karena sebagian besar air terdapat pada lorong-lorong *conduit* yang diibaratkan mempunyai bentuk seperti pipa dengan diameter tertentu. Oleh karena itu, kecepatan aliran diidentikkan dengan kecepatan aliran saluran permukaan (misal: sungai). Sifat alirannya adalah turbulen dan bukan laminar. Pada akuifer ini, mata air dapat mempunyai respon yang sangat cepat terhadap *recharge*/hujan dan mungkin pula mempunyai karakteristik hidrograf aliran yang sama dengan sungai permukaan.

c. *Confined-flow karst aquifer* atau akuifer karst yang berada dibawah batuan yang mempunyai nilai permeabilitas yang sangat kecil. Sistem aliran akuifer ini sangat dikontrol oleh lapisan diatasnya, walaupun memiliki lorong-lorong hasil proses solusional.

#### **2.4 Kondisi Umum Wilayah Kabupaten Pacitan**

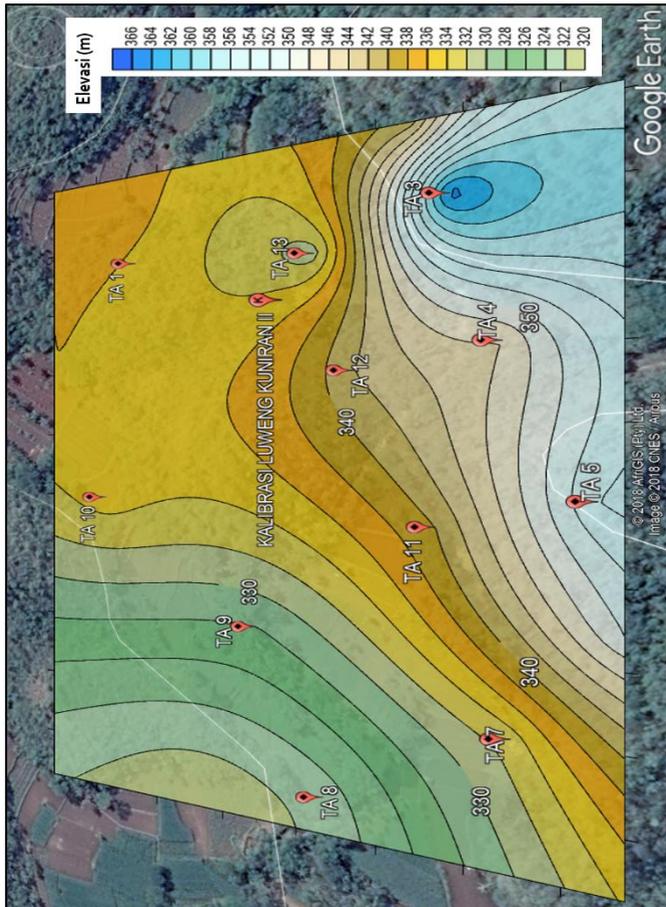
Pemerintah Kabupaten Pacitan berkedudukan di Jalan Jaksa Agung Suprpto No. 8 Pacitan 63512, Kelurahan Pacitan, Kecamatan Pacitan. Luas wilayah Kabupaten Pacitan 1.389,87 Km<sup>2</sup> atau 138.987,16 Ha yang terdiri atas lahan sawah 13.015,26 Ha dan lahan kering seluas 125.972 Ha.



- Sebelah Timur Berbatasan dengan Kabupaten Trenggalek (Provinsi Jawa Timur)
- Sebelah Selatan Berbatasan dengan Samudera Indonesia
- Sebelah Barat Berbatasan dengan Kabupaten Wonogiri (Provinsi Jawa Tengah)

#### 2.4.1 Letak Geografis dan Topografi

Secara geografis, Kabupaten Pacitan terletak antara 110,55° - 111,25° BT dan 7,55° - 8,17° LS. Berdasarkan topografinya, kondisi alam Kabupaten Pacitan meliputi wilayah pantai, daratan rendah, dan perbukitan dengan persentase 85% daerah pegunungan dan perbukitan, 10% daerah bergelombang dan 5% daerah datar.



Gambar 2.11 Peta topografi daerah penelitian di Pacitan

## 2.4.2 Hidrologi

Di Kabupaten Pacitan selain sungai Grindulu mempunyai tiga sungai besar dan cukup banyak mata air baik kecil maupun besar. Lokasi mata air sebagian besar berada di zona tengah yang pada umumnya berada di daerah tinggi. Mata air tersebut merupakan tempat awal terbentuknya sungai. Sungai dengan bentuk anak sungainya membentuk Daerah Aliran Sungai (DAS). Karena sebagian wilayah Kabupaten Pacitan adalah kawasan karst maka juga terdapat banyak potensi sungai bawah tanah, khususnya di Pacitan Barat. Sungai-sungai bawah tanah ini cukup potensial untuk dieksploitasi untuk menunjang kebutuhan air masyarakat.

Berdasarkan gambar 2.10 yang merupakan peta DAS Kabupaten Pacitan, kondisi drainase DAS Grindulu yang termasuk kategori rendah seluas 1,1 km<sup>2</sup> (0,2%), agak rendah seluas 20,5 km<sup>2</sup> (3,1%), sedang seluas 191,1 km<sup>2</sup> (29,2%) agak tinggi seluas 212,8 km<sup>2</sup> (32,5%) tinggi seluas 229,9 km<sup>2</sup> (35,1%) (Yuniar KP). Semakin rapat drainase pembuangan air akan semakin lancar dan cepat, sebaliknya yang sedikit stream (sungai kecil) maka pembuangan air menjadi terhambat akan menyebabkan tanah lembab dengan air dan mudah terjadinya longsor atau hancuran *landslide*.

## 2.5 Gelombang Mikrotremor

Gelombang mikrotremor merupakan aktivitas gelombang seismik yang berukuran kecil seperti dalam gempa tetapi belum tentu dapat dirasakan. Mikrotremor merupakan salah satu metode seismik pasif untuk merekam getaran yang dihasilkan oleh bumi seperti aktivitas vulkanik, gelombang, kondisi regional meteorologi, aktivitas manusia dan sebagainya. Mikrotremor merupakan getaran tanah selain gempa bumi, bisa berupa getaran akibat aktivitas manusia maupun aktivitas alam. Misalnya akibat aktivitas getaran mesin-mesin pabrik, angin, getaran mobil, gelombang laut, maupun getaran alamiah dari tanah. Mikrotremor mempunyai periode secara umum antara 0,05 - 2 detik dan frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi gempa bumi.

Gelombang mikrotremor dapat dipakai untuk mengetahui jenis tanah (*top soil*) berdasarkan tingkat kekerasannya. Semakin kecil periode dominan tanah maka tingkat kekerasan tanah akan semakin besar, begitu pula sebaliknya apabila periode dominan tanah semakin besar maka tanah tersebut semakin lunak. Survei mikrotremor dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pendekatan pertama adalah perekaman dilakukan secara simultan pada dua atau lebih lokasi. Salah satu tempat perekaman harus dilakukan di daerah batuan keras (*bedrock*) sehingga tidak menunjukkan adanya penguatan frekuensi akibat gerakan tanah. Rasio spektrum yang didapatkan pada tempat lain akan dibandingkan dengan

yang terekam pada *bedrock* sehingga akan didapatkan respon *site* terhadap mikrotremor.

Pendekatan kedua diperkenalkan oleh Nakamura pada tahun 1989 bersamaan dengan metode analisisnya. Nakamura menemukan bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari mikrotremor meningkat pada frekuensi resonansi dan akan menunjukkan puncak pada frekuensi tersebut. Nakamura mengasumsikan bahwa H/V merefleksikan tingkat amplifikasi dari gerakan tanah. Dengan metode ini pengukuran tidak perlu dilakukan dengan syarat adanya batuan keras (*hard rock*). (Nakamura 1989).

Untuk metode Nakamura, diperlukan seismometer yang memiliki tiga komponen yang merekam komponen EW (East-West), NS (North-South), dan komponen vertikal (*up-down*). Spektrum *ambient noise* yang diperoleh dari pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk menentukan respon lokasi khususnya frekuensi dari puncak utama atau frekuensi resonansi lapisan sedimen. Respon lokasi pada daerah sedimen sangat berhubungan dengan ketebalan sedimen dan kecepatan gelombang geser. Oleh karena itu, respon lokasi yang diperoleh dari teknik perbandingan spektrum dapat digunakan untuk menentukan ketebalan sedimen. (Nakamura, 2008).

## **2.6 Horizontal to Vertical Spectral 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. Hal itu juga menunjukkan bahwa karakteristik dinamis lapisan permukaan secara kasar bisa dipahami pada titik yang diobservasi, jika pengamatan bentuk gelombang seismic tremor dilakukan pada tiga komponen, yaitu dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal (Nakamura, 1989). Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) ini merupakan salah satu metode yang biasanya digunakan pada mikrotremor tiga komponen untuk mengidentifikasi kedalaman *bedrock*. Selain itu, metode ini dapat digunakan untuk mengetahui frekuensi resonansi dominan ( $f_0$ ) dan nilai puncak dari HVSR (A) yang menunjukkan karakteristik dinamis sedimen. Bila diketahui keduanya, maka dapat diketahui indeks kerentanan seismik dalam kg. Parameter yang digunakan dalam metode HVSR ini adalah amplifikasi dan frekuensi natural, dimana kedua hal ini berhubungan dengan parameter fisis bawah permukaan guna mengetahui karakteristik daerah penelitian secara geologi.

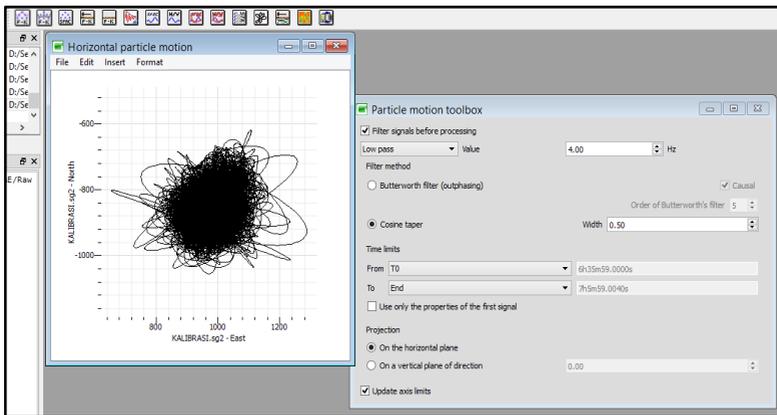
Metode HVSR ini banyak digunakan karena tidak membutuhkan biaya besar, efektif, dan ramah lingkungan. Metode ini dikenalkan oleh ilmuwan bernama Nakamura pada tahun 1989 dengan prinsip menghitung rasio spektrum

antara komponen total resultan horizontal terhadap vertikal. Persamaan metode HVSR ini adalah sebagai berikut:

$$R(f) = \frac{\sqrt{Hew^2(f)-Hns^2(f)}}{Vud(f)} \quad (1)$$

dimana  $R(f)$  merupakan spektrum rasio HVSR,  $Hew(f)$  merupakan spektrum komponen horizontal E-W (Barat–Timur),  $Hns(f)$  merupakan komponen horizontal N-S (Utara–Selatan) dan  $Vud(f)$  merupakan spektrum komponen vertikal.

### 2.7 Pergerakan Partikel (*Particle Motion*)



Gambar 2.12 Analisa pergerakan partikel (Geopsy,2017)

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.

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.

Prinsip kerja dari pengolahan data *particle motion* ini yaitu dengan memasukkan data pengukuran mikrotremor yang merupakan data mentah (*raw data*) yang kemudian diolah menggunakan *software* Geopsy yang kemudian nantinya dapat menghasilkan dua jenis arah hasil *particle motion* yaitu *horizontal particle motion* dan *vertical particle*. Pada tugas akhir ini digunakan *horizontal particle motion* untuk menentukan arah dari sumber getaran.

## **2.8 Time Frequency Analysis (TFA)**

Dalam pengolahan sinyal, *Time Frequency Analysis* (TFA) meninjau sinyal dalam domain waktu dan frekuensi secara serentak. 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).

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, 1994).

*Wavelet Morlet* adalah bentuk dasar dari suatu fungsi utama yang digunakan untuk membangkitkan fungsi-fungsi *window* dalam proses transformasi. Beberapa wavelet yang biasa digunakan antara lain adalah *Wavelet Doubechies*, *Wavelet Haar*, *Wavelet Symlet*, dan *Wavelet Morlet*. Fungsi *wavelet* yang umumnya digunakan dalam transformasi wavelet kontinyu adalah *wavelet Morlet* dengan persamaan (Kumar, 1994):

$$\psi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} \exp\left(-i\omega_0 t - \exp\left(\frac{\omega_0^2}{2}\right)\right) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \quad (2)$$

Biasanya didekati dengan persamaan:

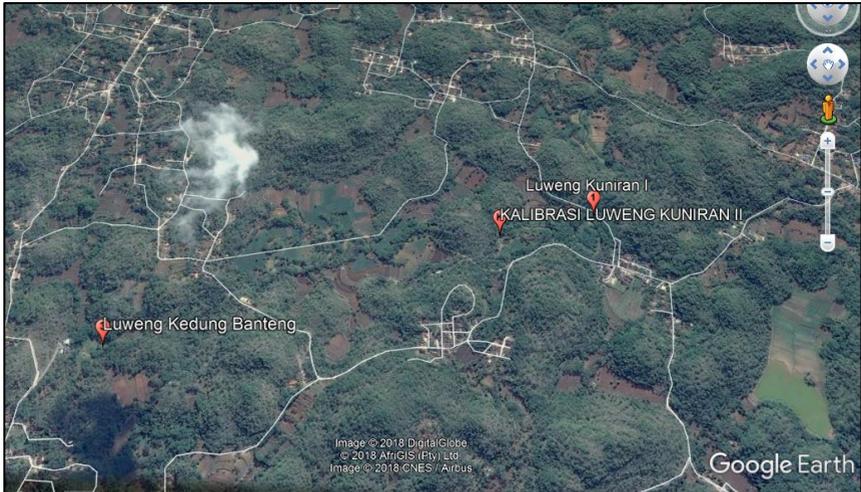
$$\psi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} \exp(-i\omega_0 t) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \text{ untuk } \omega_0 \geq 5 \quad (3)$$

pendekatan ini dilakukan agar memenuhi *admisibility condition* yaitu kemampuan untuk mengekstraksi fase dari suatu sinyal.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di Desa Sekar, Kecamatan Donorejo, Pacitan Barat, Kabupaten Pacitan. Pada lokasi penelitian ini, adanya jalur sungai bawah permukaan diindikasikan dengan adanya beberapa titik luweng yang sejajar yaitu:



Gambar 3.1 Peta lokasi penelitian

1. Luweng Kuniran I pada UTM (498421.01 m E, 9100467.45 m S) di ketinggian 350 mdpl (meter diatas permukaan laut),
2. Luweng Kuniran II pada UTM (498144.00 m E, 9100409.00 m S) di ketinggian 331 mdpl, dan
3. Luweng Kedung Banteng pada UTM (497062.37 m E, 9100105.02 m S) di ketinggian 323 mdpl

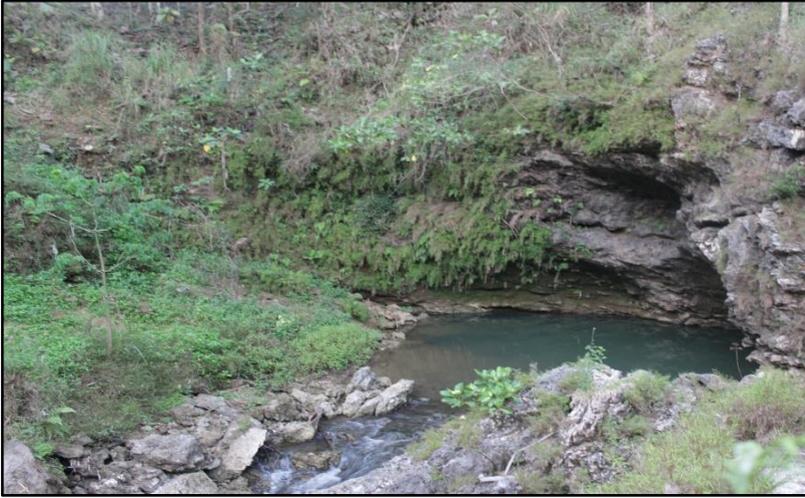
Ketiga luweng ini diindikasikan sebagai satu sistem goa yaitu sistem Kedung Banteng.



Gambar 3.2 Luweng Kuniran I (Dokumentasi Survey)



Gambar 3.3 Luweng Kuniran II (Dokumentasi Survey)



Gambar 3.4 Luweng Kedung Banteng (Dokumentasi Survey)

### **3.2 Instrumen Penelitian**

Instrumen-instrumen yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Perangkat lunak: Google Earth, Easy HVSR, Geopsy, Surfer 11, dan Microsoft Excel 2016.
2. Perangkat Keras: Kompas, GPS, laptop, *Seismograph* MAE

### 3.3 Desain Akuisisi

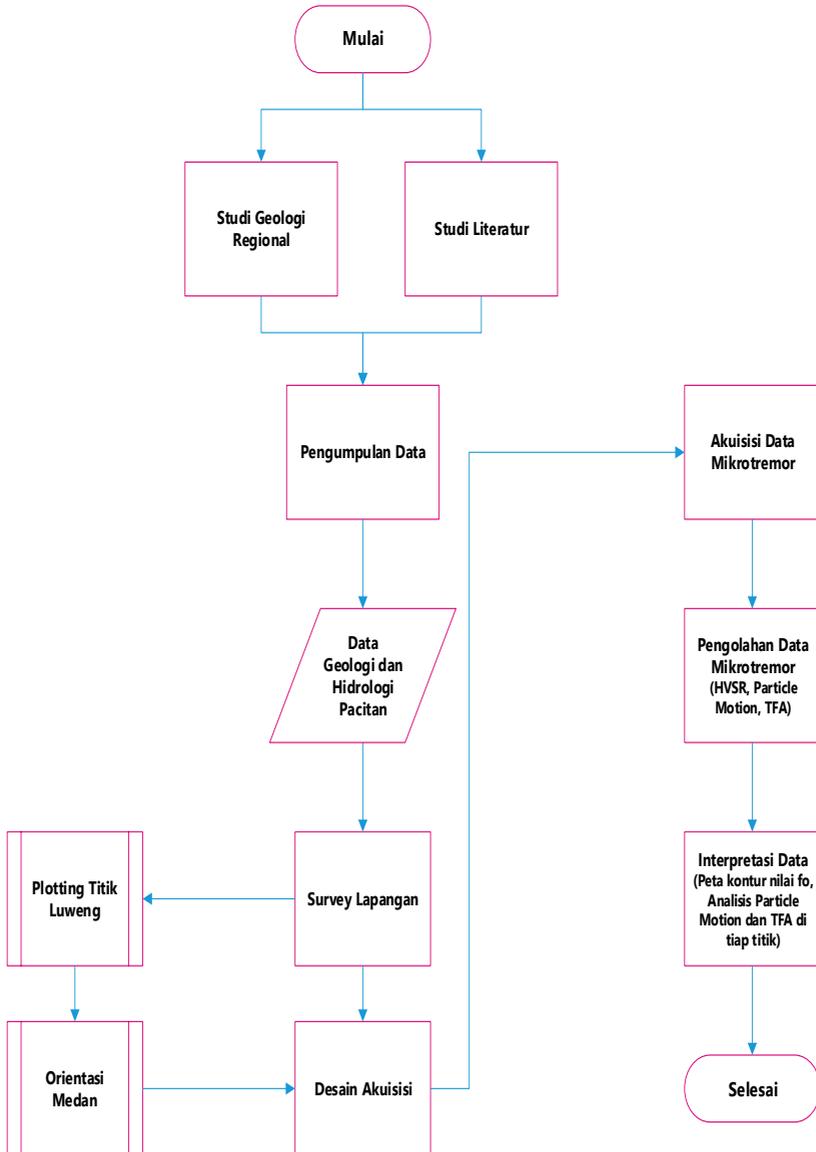


Gambar 3.5 Peta lokasi akuisisi data

Dengan keterangan sebagai berikut:

- Luas wilayah penelitian: 197.829 m<sup>2</sup>
- Perimeter (Keliling): 1.813 m
- Total titik pengukuran: 12 titik
- Spasi antar titik pengukuran: ± 100 m
- Target kedalaman: 10 – 20 m
- Waktu Pengukuran: 2 hari

### 3.4 Diagram Alir



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 memplotting luweng atau goa yang dihipotesa sebagai satu sistem goa Kedung Banteng (Luweng Kuniran I, Luweng Kuniran II, dan Luweng Kedung Banteng. Kemudian juga agar diketahui orientasi medan.
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 2 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.

### 3.5 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.

#### 3.5.1 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.

### 3.5.1.1 Input Data Awal

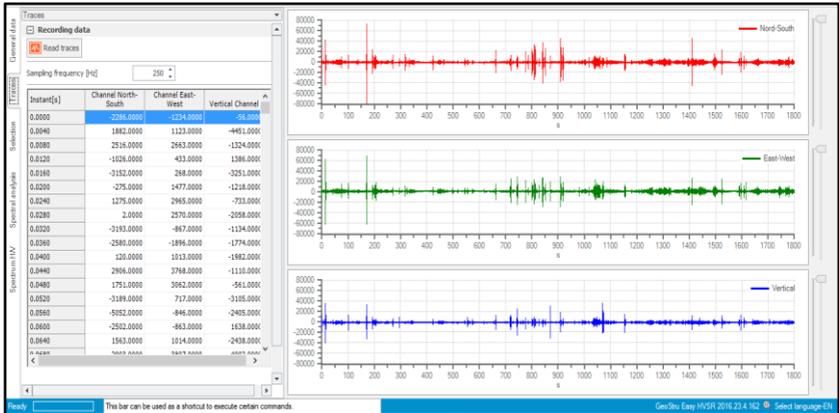
Tabel 3.2 Data awal

Nama Titik	Koordinat		Format Data
	Easting	Northing	
TA1	498230	9100525	.sg2
TA3	498203	9100307	.sg2
TA4	498104	9100279	.sg2
TA5	498002	9100232	.sg2
TA7	497850	9100275	.sg2
TA8	497789	9100382	.sg2
TA9	497905	9100426	.sg2
TA10	497998	9100541	.sg2
TA11	497983	9100315	.sg2
TA12	498090	9100363	.sg2
TA13	498175	9100388	.sg2
KALIBRASI	498144	9100409	.sg2

Pada tahap pengolahan data mikrotremor, langkah paling awal yang dilakukan adalah memasukkan data atau input data lokasi titik dan disusun dengan urutan seperti pada tabel 3.2. 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.

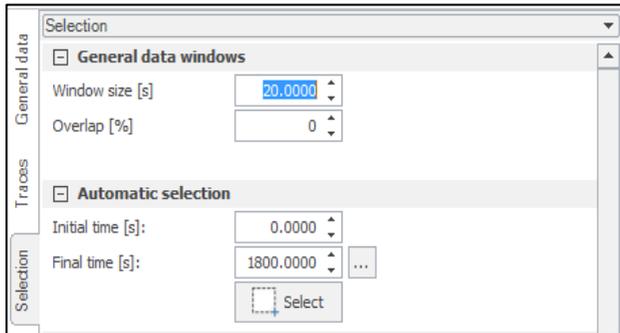
### 3.5.1.2 Input Raw Data pada Easy HVSr

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 3.6 Input raw data pada Easy HVSR

### 3.5.1.3 Window Selection



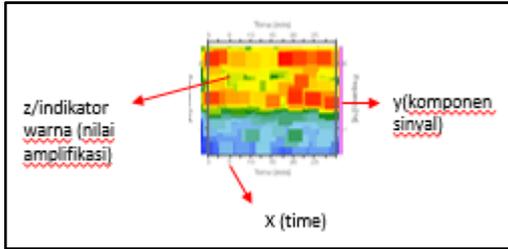
Gambar 3.7 Selection Window

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.

### 3.5.1.4 Manual Selection (Menghilangkan Noise)

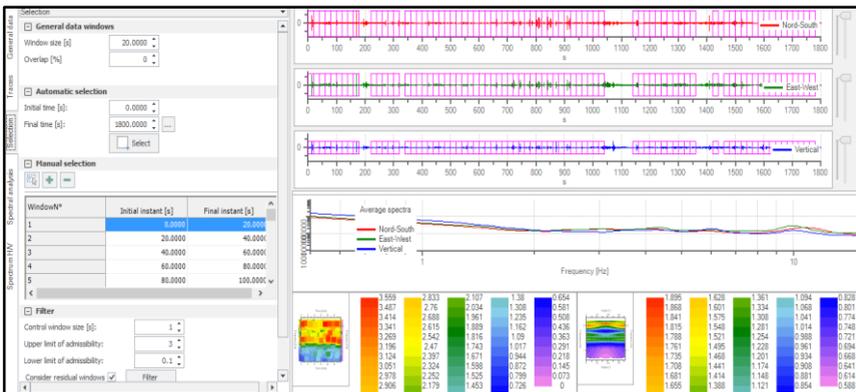
*Noise* yang merupakan gelombang yang tiba-tiba memiliki nilai besar dan hanya terjadi di momen tertentu saja pasti ditemukan dalam data pengukuran

mikrotremor. *Noise* ini secara langsung mempengaruhi nilai frekuensi puncak sehingga perlu direduksi agar kurva frekuensi yang terbentuk menunjukkan frekuensi dominan pada titik pengukuran tersebut.



Gambar 3.8 *Frequency domain window*

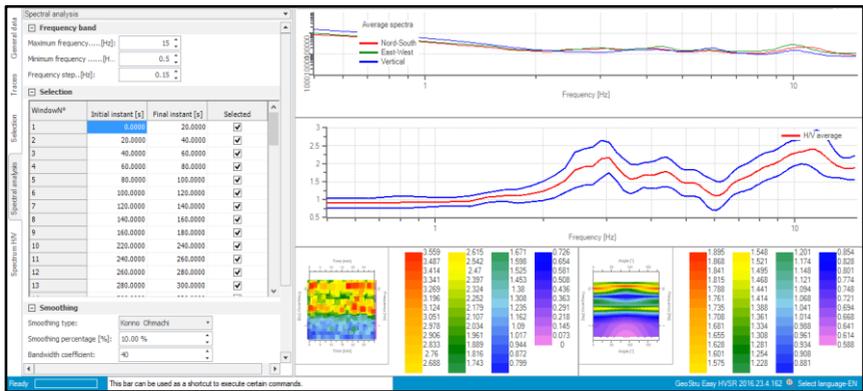
Berdasarkan gambar 3.7, *noise* dapat diidentifikasi dengan cara melihat kotak berwarna merah yang hanya berada pada satu waktu tertentu saja. *Noise* tersebut dapat dihilangkan dengan cara mengklik cursor pada kotak merah tersebut dan secara otomatis akan menunjukkan *noise* tersebut berada pada jendela waktu berapa pada komponen gelombang. Kemudian dipilih *removing window* agar jendela waktu tersebut hilang. Hal ini dilakukan sampai kotak pada gambar 3.7, 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 3.8



Gambar 3.9 *Manual selection window*

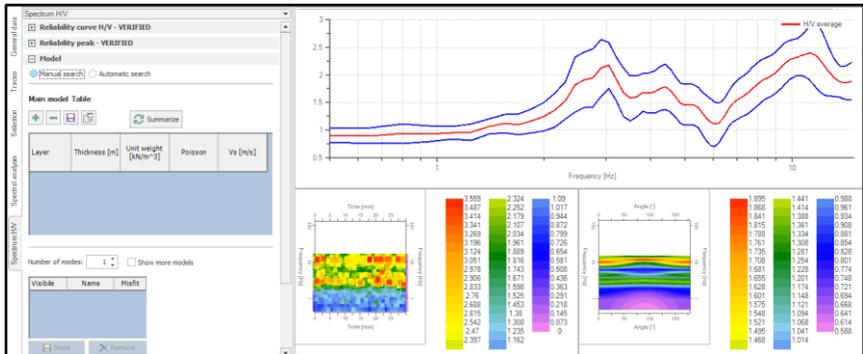
### 3.5.1.5 Spectral Analysis

*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 juga 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.



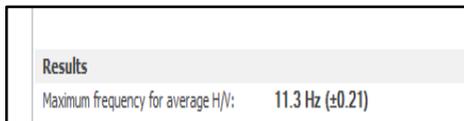
Gambar 3.10 Spectral analysis window

### 3.5.1.6 Analisis Kurva HVSR



Gambar 3.11 Spectrum H/V window

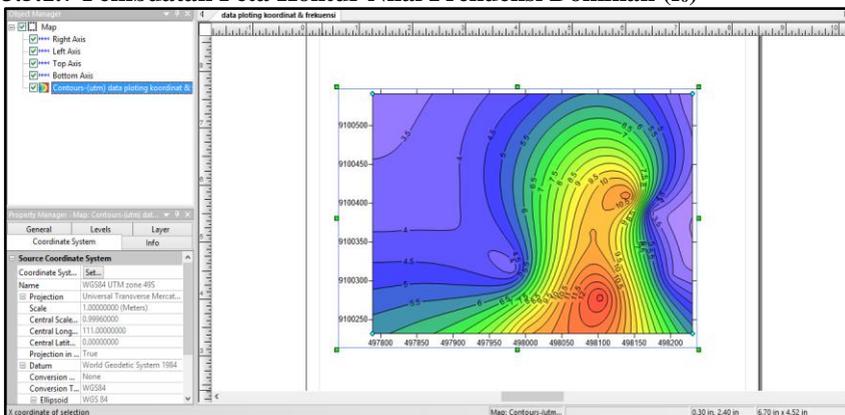
Setelah melakukan pengolahan menghilangkan *noise* dan menentukan rentang nilai frekuensi, dilakukan analisis kurva HVSR pada sub-menu *Spectrum H/V*. Pada sub-menu ini dapat ditentukan apakah nilai frekuensi dominan sudah benar atau belum dengan melihat indikator *Reliability Curve H/V* dan *Reliability Peak* sudah menunjukkan *verified* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.10. Jika belum maka dilakukan kembali proses *filtering noise* ataupun penentuan rentang nilai frekuensi agar kurva yang dibentuk ataupun nilai frekuensi dominannya benar.



Gambar 3.12 Nilai frekuensi dominan

Jika sudah benar yang diindikasikan dengan dua indikator tadi *verified*, maka dapat terlihat pada gambar 3.11 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.

### 3.5.1.7 Pembuatan Peta Kontur Nilai Frekuensi Dominan ( $f_0$ )



Gambar 3.13 Pembuatan peta kontur dengan Surfer 11

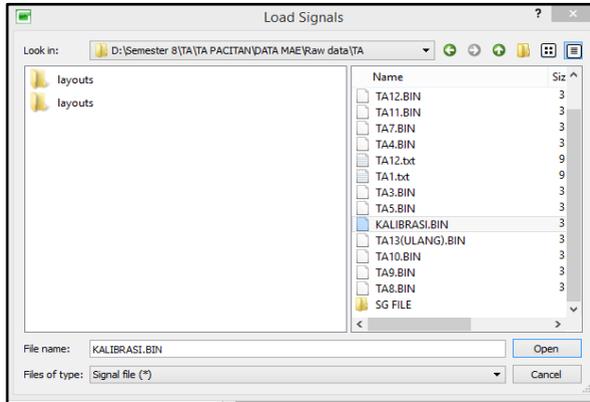
Nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) yang telah diketahui di setiap titik, kemudian dikonturkan menggunakan software Surfer 11. Pada pembuatan peta kontur ini sumbu x dan sumbu y merupakan nilai koordinat titik pengukuran dalam skala UTM sedangkan nilai z merupakan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) tiap titik.

Hal ini dilakukan agar dapat melihat persebaran nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) tiap titik yang dilakukan dengan *overlay* peta kontur dengan desain akuisisi pada Google Earth.

### 3.5.2 Pengolahan Data *Particle Motion*

Alur pengolahan data ini yaitu memasukkan data pengukuran dengan format .sg2 ke dalam aplikasi Geopsy yang kemudian dilihat dan dianalisa arah pergerakan tiap titik pengukuran.

#### 3.5.2.1 Input Data Awal



Gambar 3.14 Data akuisisi yang *diinput*

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.

#### 3.5.2.2 Kalibrasi Komponen Sinyal

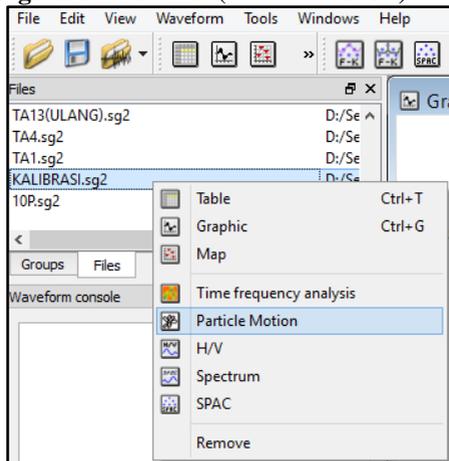
Data – data hasil akuisi kemudian dikalibrasi terlebih dahulu komponen gelombangnya. Kalibrasi ini dilakukan karena pada saat memasukkan data sinyal atau data titik pengukuran, 3 sinyal data tersebut masih berupa komponen Z

sedangkan seperti yang diketahui bahwa satu titik pengukuran 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 E, no.2 merupakan komponen N, dan no.3 adalah komponen Z. 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
1 37	KALIBRASI.sg2	East	07/10/2017 00:00:00	6h35m59.000000s	7h5m59.004000s	250
2 38	KALIBRASI.sg2	North	07/10/2017 00:00:00	6h35m59.000000s	7h5m59.004000s	250
3 39	KALIBRASI.sg2	Vertical	07/10/2017 00:00:00	6h35m59.000000s	7h5m59.004000s	250

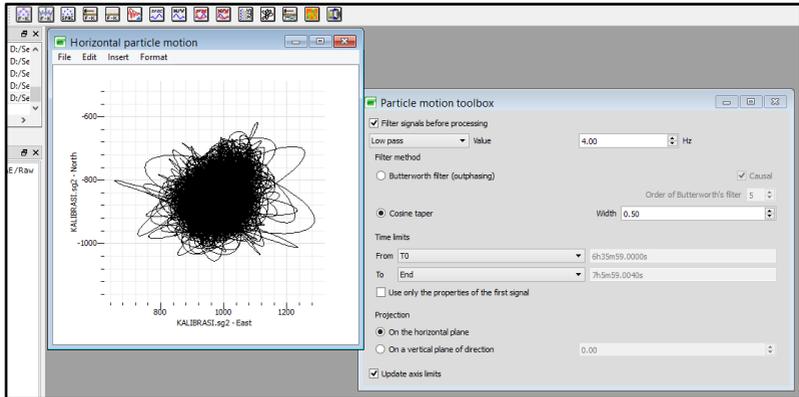
Gambar 3.15 Tampilan kalibrasi pada Geopsy

### 3.5.2.3 Analisa Pergerakan Partikel (*Particle Motion*)



Gambar 3.16 Fitur *particle motion* pada Geopsy

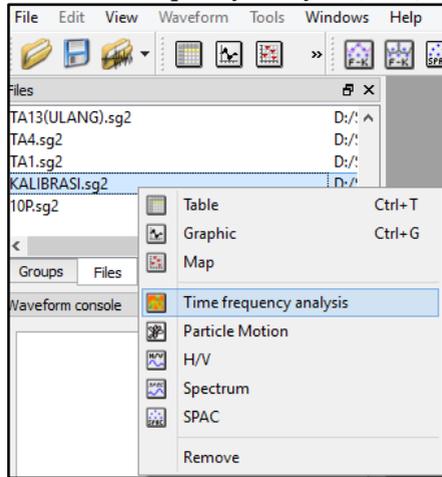
Setelah setiap data pengukuran dikalibrasi 3 komponen sinyalnya, selanjutnya dilakukan analisa pergerakan partikel. Pada aplikasi Geopsy, langkah pengolahan yang dilakukan yaitu pada submenu *Files* terdapat *database* yang terdapat data – data pengukuran kemudian data yang ingin dianalisa diklik kanan kemudian akan muncul beberapa pengolahan dan dipilih *Particle Motion* seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.15.



Gambar 3.17 *Particle motion toolbox*

Kemudian secara otomatis Geopsy akan melakukan *processing* data tersebut untuk menghasilkan *horizontal particle motion*. Pada gambar 3.16, terlihat *particle motion* berbentuk garis – garis tidak beraturan yang merupakan getaran yang terjadi pada titik tersebut dan pasti memiliki resultan arah getaran yang dominan. Resultan tersebut yang dianalisa arahnya dengan acuan komponen x mengarah ke Timur dan komponen y mengarah ke Utara. 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.

### 3.5.3 Pengolahan Data *Time Frequency Analysis* (TFA)

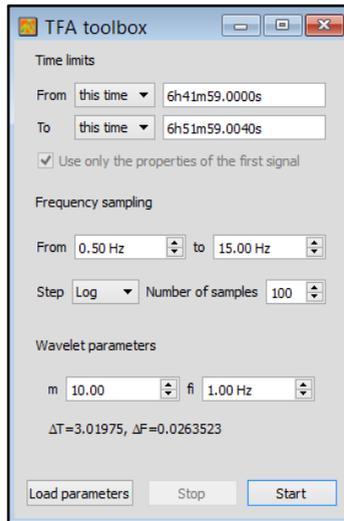


Gambar 3.18 Fitur *time frequency analysis* pada Geopsy

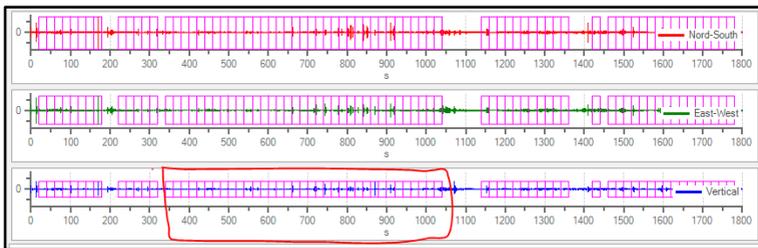
Berdasarkan gambar 3.17, pengolahan data ini dimulai dengan memasukkan langsung data pengukuran tiap titik yang telah ada dalam *database* dalam aplikasi Geopsy yang kemudian dilihat dan dianalisa amplitudo yang terjadi memiliki nilai berapa dan terjadi pada rentang waktu dan frekuensi berapa pada data pengukuran. Langkah pengolahan yang dilakukan yaitu pada submenu *Files* terdapat *database* yang terdapat data – data pengukuran kemudian data yang ingin dianalisa diklik kanan kemudian akan muncul beberapa pengolahan dan dipilih *Time frequency analysis*.

#### 3.5.3.1 Analisis Amplitudo pada TFA

Setelah dipilih submenu *time frequency analysis* pada data pengukuran, maka selanjutnya akan muncul TFA *toolbox* seperti pada gambar 3.18 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 dapat dilihat pada saat pengolahan HVSR dimana rentang waktu yang tidak banyak mengalami pemotongan / *removed window* itulah yang ditentukan sebagai rentang waktu pengolahan TFA.



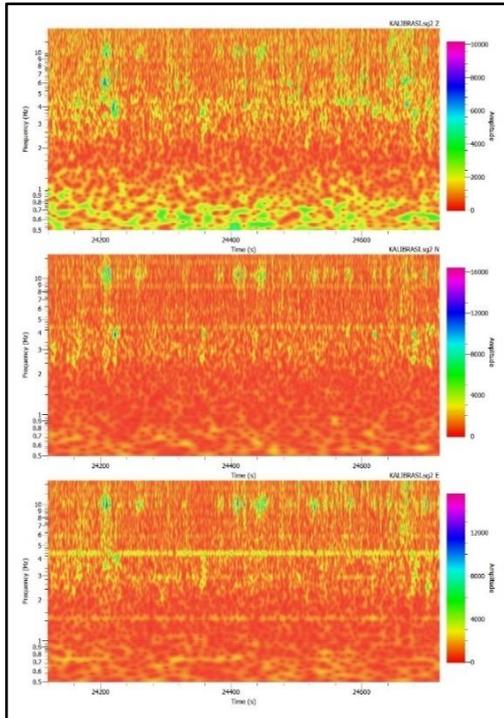
Gambar 3.19 Panel TFA *toolbox*



Gambar 3.20 Rentang waktu yang tidak mengalami pemotongan *window*

Berdasarkan gambar 3.19 terlihat bahwa pada rentang waktu 400-1000 detik (s) waktu pengukuran data atau dengan kata lain pada rentang waktu 6-16 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 10 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 3.21 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.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

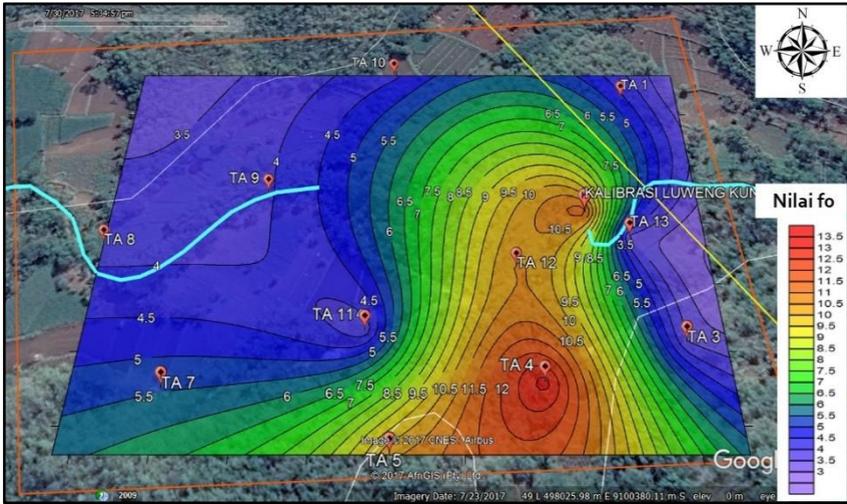
### 4.1 Hasil Data Frekuensi Dominan ( $f_0$ )

Tabel 4.1 Rekapitulasi nilai frekuensi dominan ( $f_0$ )

Nama Titik	Koordinat		Frekuensi Dominan ( $f_0$ ) (Hz)
	Easting	Northing	
TA1	498230	9100525	3.05
TA3	498203	9100307	3.5
TA4	498104	9100279	13.25
TA5	498002	9100232	10.4
TA7	497850	9100275	5.45
TA8	497789	9100382	3.8
TA9	497905	9100426	3.95
TA10	497998	9100541	4.4
TA11	497983	9100315	3.65
TA12	498090	9100363	10.55
TA13	498175	9100388	3.35
KALIBRASI	498144	9100409	11.3

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 3,05 – 5,45 Hz yang berada pada titik TA1, TA3, TA7, TA8, TA9, TA10, TA11, dan TA 13. Sedangkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) yang tinggi dengan rentang 10,4 – 13,25 Hz berada pada titik TA4, TA5, TA12, dan KALIBRASI.

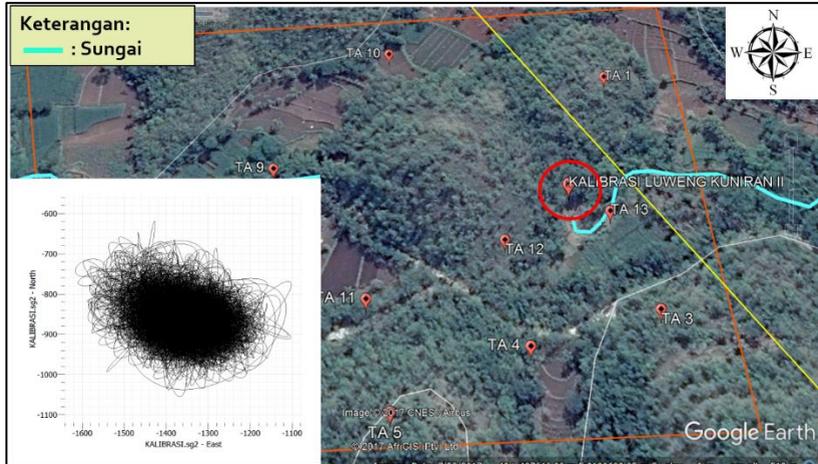
Kemudian data dapat dianalisis dengan melakukan *overlay* peta kontur nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) tiap titik dengan peta akuisisi yang berada pada Google Earth sehingga dapat diketahui persebaran nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) berdasarkan kondisi lapangan atau lokasi pengukuran.



Gambar 4.1 Overlay peta kontur  $f_0$  dengan peta lokasi di Google Earth

Berdasarkan gambar 4.1 diketahui bahwa terdapat dua zona nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) yaitu yang pertama nilai rendah dengan rentang nilai 3,05 – 5,45 Hz berada pada titik TA1, TA3, TA7, TA8, TA9, TA10, TA11, dan TA 13 yang terletak pada pinggiran sungai (TA8, TA9, TA10, dan TA 13) dan pinggir jalan maupun di dekat lahan perkebunan (TA1, TA3, TA7, dan TA11). Sedangkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) yang tinggi dengan rentang 10,4 – 13,25 Hz yang berada pada titik TA4, TA5, TA12, dan KALIBRASI terletak di bukit (TA4, TA5, dan TA12) dan tepat di atas Luweng Kuniran II yang terdapat rongga serta dialiri air langsung dibawahnya (KALIBRASI). Pengaruh nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) ini erat kaitannya dengan kondisi geologi lokasi pengukuran dimana ketebalan sedimen pada lokasi pengukuran secara langsung mempengaruhi nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ). Berdasarkan hasil data frekuensi dominan ( $f_0$ ), daerah yang memiliki nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) rendah dipengaruhi oleh lapisan sedimen atau lapisan lunak yang tebal yang berkaitan dengan sedimentasi daerah zona I oleh pengaruh sungai. Sedangkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) yang tinggi dipengaruhi oleh lapisan sedimen tipis dan juga bukit yang merupakan bukit karst sehingga langsung menjumpai lapisan keras pada bagian permukaan.

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

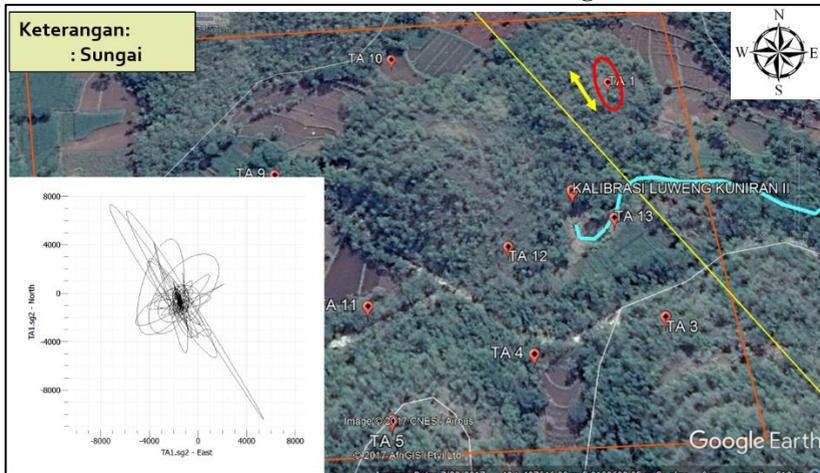


Gambar 4.2 Resultan *particle motion* pada titik KALIBRASI

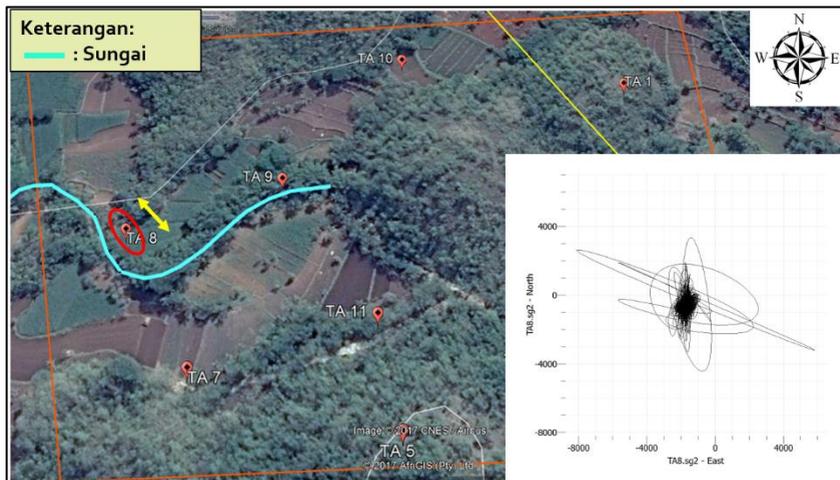
Pengolahan data *particle motion* dilakukan untuk melihat resultan arah atau *trend* arah getaran di tiap titik data pengukuran, maka dihasilkan karakter pergerakan partikel yang menunjukkan pola tertentu pada tiga jenis wilayah yang dibagi berdasarkan lokasi pengukuran. Pada gambar 4.2, lokasi pengukuran titik KALIBRASI berada tepat di atas luweng Kuniran II yang di bawahnya atau luwengnya dilewati aliran sungai sistem Kedung Banteng. Berdasarkan hasil pengolahan data *particle motion*, pada gambar 4.2 terlihat bahwa resultan arah dari pergerakan partikelnya terpusat atau dengan kata lain tidak memiliki dominan arah tertentu baik ke arah Utara-Selatan (N-S) ataupun Timur-Barat (E-W). Hal ini ditunjukkan dari gambar 4.2 dimana garis-garis hitam yang merupakan getaran yang muncul selama rentang waktu pengukuran 30 menit saling menumpuk di tengah sehingga dapat dianalisis bahwa resultan arahnya terpusat.

Pada titik KALIBRASI tidak memiliki resultan arah atau terpusat dikarenakan memang diukur tepat di atas sungai yang seharusnya sumber getaran atau getaran yang dihasilkan berada tepat di bawah alat pengukuran dan dapat dikatakan sebagai hiposenter atau titik pusat getaran. Titik KALIBRASI ini diukur dan dianalisis supaya mendapatkan hasil pergerakan partikel yang dijadikan acuan pada titik pengukuran lainnya seperti daerah sekitar sungai maupun daerah non-sungai.

### 4.2.1 Hasil Data *Particle Motion* Daerah Sekitar Sungai



Gambar 4.3 Resultan *particle motion* pada titik TA1



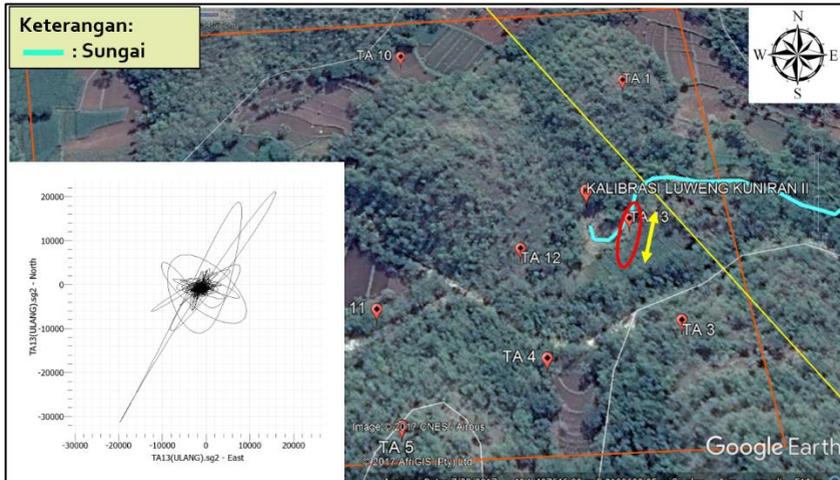
Gambar 4.4 Resultan *particle motion* pada titik TA8



Gambar 4.5 Resultan *particle motion* pada titik TA9



Gambar 4.6 Resultan *particle motion* pada titik TA10



Gambar 4.7 Resultan *particle motion* pada titik TA13

Berdasarkan lokasi pengukuran mikrotremor, terdapat beberapa lokasi yang dipilih di sekitar sungai yaitu di sungai yang terdapat bagian keringnya (titik TA13), di pinggir sungai yang mengalir (titik TA8, TA9, TA10) dan di kaki bukit tempat luweng Kuniran II berada dan juga awal sungai hilang (titik TA1). Setelah dilakukan pengolahan data *particle motion*, didapatkan pada gambar 4.3 yang merupakan titik TA1 memiliki resultan arah Barat Laut-Tenggara (NW-SE), pada gambar 4.4 yang merupakan titik TA8 memiliki resultan arah Barat Laut-Tenggara (NW-SE), pada gambar 4.5 yang merupakan titik TA9 memiliki resultan arah Barat Laut-Tenggara (NW-SE), pada gambar 4.6 yang merupakan titik TA10 memiliki resultan arah Barat Laut-Tenggara (NW-SE), dan pada titik yang berada di sungai yang terdapat bagian keringnya yaitu titik TA13 (gambar 4.7) memiliki resultan arah Barat Laut-Tenggara (NW-SE).

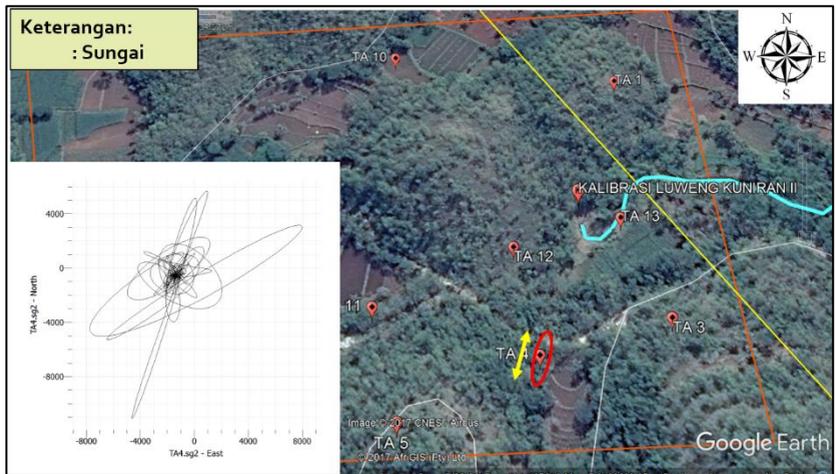
Pada hasil data *particle motion* di titik pengukuran sekitar sungai ini, dapat dianalisis bahwa pada titik TA1, TA8, TA9, TA10, dan TA13 memiliki pola resultan arah yang sama yaitu Barat Laut-Tenggara (NW-SE). Hal ini memang dikarenakan titik-titik ini diletakkan sejajar terhadap aliran sungai yang memiliki orientasi arah Timur-Barat (E-W) dimana pada gambar 4.2 – gambar 4.7 terlihat warna biru muda merupakan sungai yang merupakan bagian dari sistem sungai Kedung Banteng. Selain itu hasil ini juga menentukan pola tertentu bahwa pada titik-titik pengukuran di sekitar sungai memiliki resultan arah yang tegak lurus terhadap aliran sungai dimana aliran sungai berarah Timur-Barat (E-W) dan resultan arah dari *particle motion* titik-titik pengukuran berorientasi

Barat Laut-Tenggara. Hal ini dapat diindikasikan bahwa sungai berperan sebagai sumber (*source*) terhadap titik pengukuran.

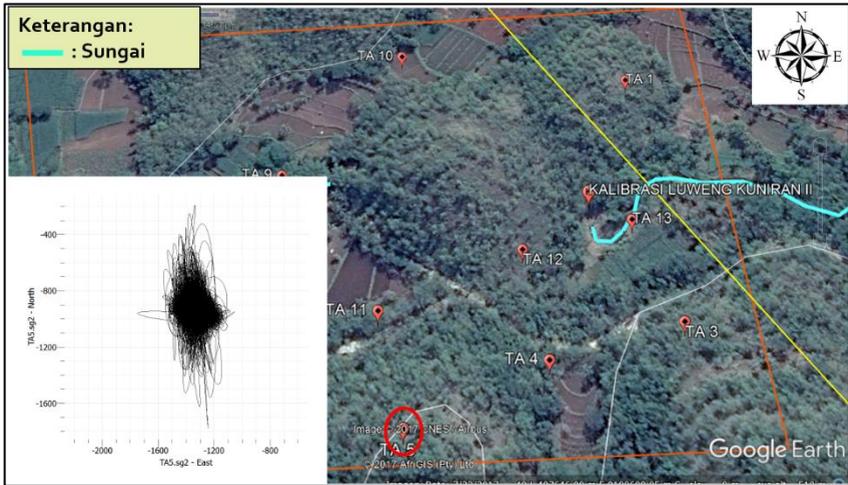
#### 4.2.2 Hasil Data *Particle Motion* Daerah Jalan dan Bukit



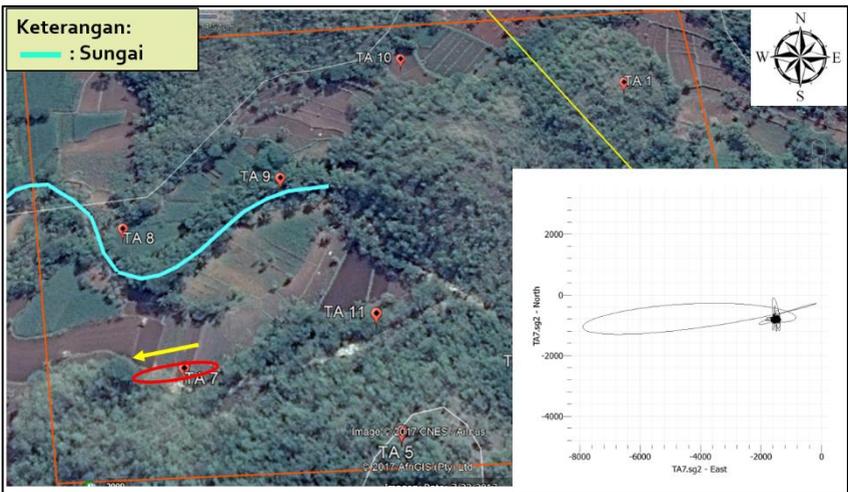
Gambar 4.8 Resultan *particle motion* pada titik TA3



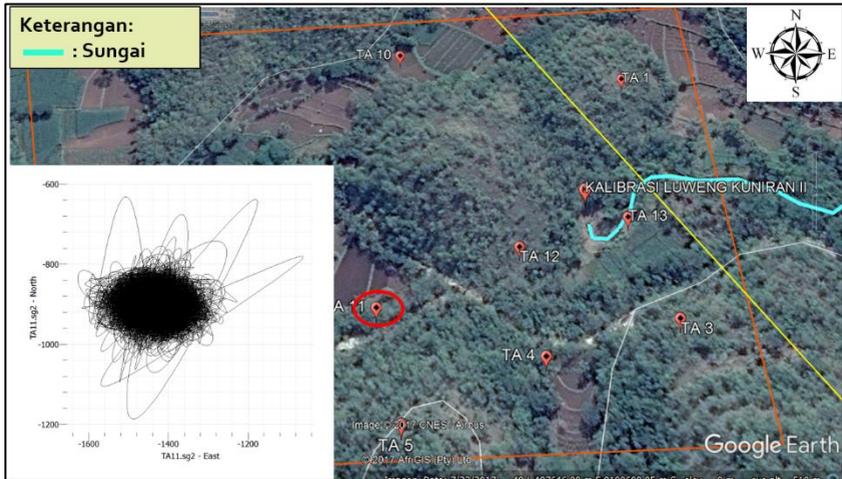
Gambar 4.9 Resultan *particle motion* pada titik TA4



Gambar 4.10 Resultan *particle motion* pada titik TA5



Gambar 4.11 Resultan *particle motion* pada titik TA7



Gambar 4.12 Resultan *particle motion* pada titik TA11

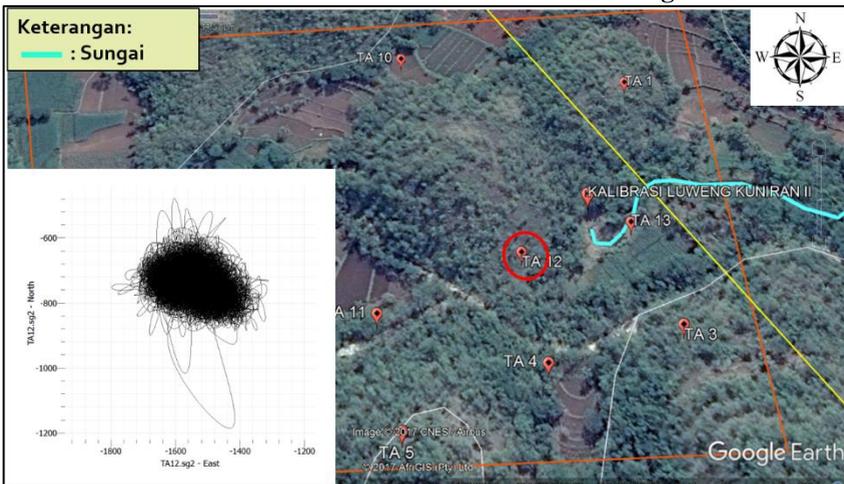
Berdasarkan lokasi pengukuran mikrotremor, terdapat beberapa titik yang diambil di tepi jalan dan juga bukit untuk melihat respon pada daerah non sungai. Titik TA3 terletak di badan bukit namun di tepi jalan, Titik TA4, TA7, TA11 terletak persis di tepi jalan dan titik TA5 terletak di puncak bukit yang memang tidak ada indikasi terdapat sungai di bawahnya ataupun di sekitarnya. Setelah dilakukan pengolahan data *particle motion*, didapatkan pada gambar 4.8 yang merupakan titik TA3 memiliki resultan arah Utara-Selatan (N-S), pada gambar 4.9 yang merupakan titik TA4 memiliki resultan arah Barat Daya-Timur Laut (SW-NE), pada gambar 4.10 yang merupakan titik TA5 tidak memiliki resultan arah atau dengan kata lain terpusat, pada gambar 4.11 yang merupakan titik TA7 memiliki resultan arah Barat (E-W), dan pada titik yang berada di tepi jalan juga yaitu titik TA11 (gambar 4.12) tidak memiliki resultan arah atau dengan kata lain terpusat.

Pada hasil data *particle motion* di titik-titik pengukuran daerah jalan dan juga bukit tidak menunjukkan pola tertentu. Pada titik-titik pengukuran di tepi jalan yaitu titik TA3, TA4, TA7, TA11 menunjukkan resultan arah yang berbeda-beda. Pada titik TA3 (gambar 4.8) terlihat resultan arah getaran pada titik ini adalah Utara-Selatan (N-S) dan tegak lurus terhadap jalan di utaranya yang memiliki orientasi arah Timur-Barat (E-W). Kemudian pada titik TA4 yang terletak di antara dua jalan (gambar 4.9) memiliki resultan arah getaran Barat Daya-Timur Laut (SW-NE) dimana resultan ini tegak lurus terhadap jalan di depan titik pengukuran ini. Namun pada titik TA7 (gambar 4.11) yang berlokasi di tepi jalan menunjukkan arah Timur (W) saja, memang kurang lebih tegak lurus

terhadap jalan yang berorientasi Barat Laut-Tenggara (NW-SE) tetapi dapat diduga getaran yang dihasilkan dominan tidak berasal dari jalan tersebut namun berasal dari bukit di sampingnya karena lokasi titik TA7 ini tepat diantara jalan dan tebing bukit.

Selain itu pada titik TA11 (gambar 4.12) yang berlokasi di tepi jalan memiliki *particle motion* dengan orientasi arah Barat Daya-Timur Laut (SW-NE) dimana resultan ini tidak tegak lurus terhadap jalan namun sejajar dengan jalan yang memiliki orientasi arah yang sama dengan *particle motion* titik TA11 sehingga pada titik pengukuran di tepi jalan tidak memiliki pola tertentu yang menunjukkan bahwa jalan sebagai sumber (*source*) getaran yang tetap. Sedangkan pada titik TA5 (gambar 4.10) yang berlokasi di puncak bukit yang tidak ada indikasi terdapat sungai di bawahnya memiliki *particle motion* terpusat yang diduga memang sumber getaran yang dihasilkan pada titik ini berasal langsung dari bawah bukit tanpa ada pengaruh besar dari samping bukit tersebut.

### 4.2.3 Hasil Data *Particle Motion* Daerah Bukit di Atas Sungai



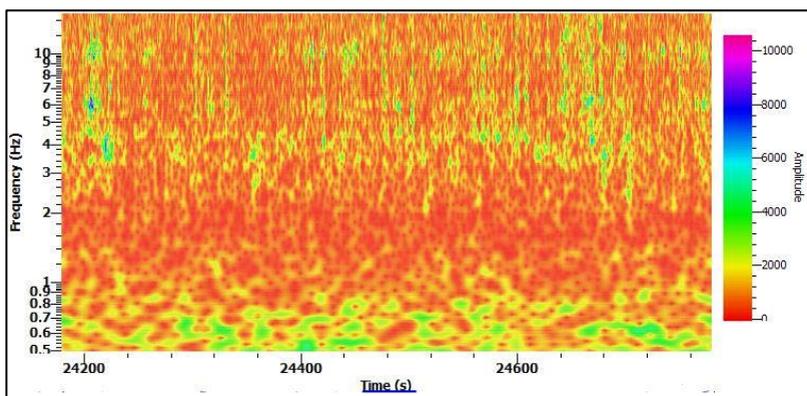
Gambar 4.13 Resultan *particle motion* pada titik TA12

Pada pengolahan data *particle motion* di titik TA12, seperti pada gambar 4.13 dihasilkan bahwa pada titik TA12 yang berlokasi di atas bukit dimana bukit tersebut merupakan lokasi luweng Kuniran II di kakinya dan awal aliran sungai menghilang, tidak terdapat resultan arah pergerakan partikel atau dengan kata lain terpusat. Pada titik TA12 terdapat dua kemungkinan penyebab peregerakan partikelnya terpusat. Penyebab pertama dikarenakan lokasi

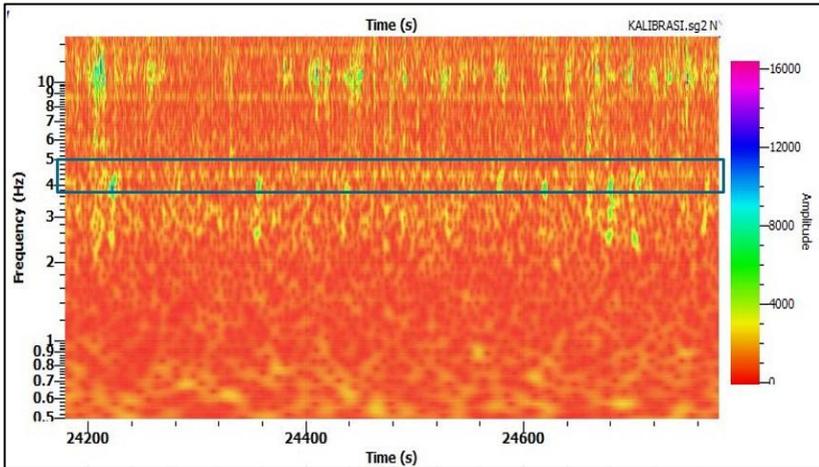
pengukuran berada di atas bukit dimana sama halnya dengan titik TA5 berdasarkan gambar 4.10 tidak terdapat pengaruh getaran dari daerah sekitar pengukuran karena getaran dominan disebabkan oleh bukit itu sendiri sehingga terpusat karena getaran berasal langsung dari bawah bukit.

Penyebab kedua dikarenakan lokasi titik TA12 seperti pada gambar 4.13 berada di atas bukit yang terdapat luweng yang merupakan awal sungai terputus yang menyebabkan kemungkinan respon *particle motion* yang dihasilkan titik TA12 sama dengan titik KALIBRASI seperti pada gambar 4.2 yang seharusnya sumber getaran atau getaran yang dihasilkan berada tepat di bawah alat pengukuran dan dapat dikatakan sungai sebagai hiposenter atau titik pusat getaran. Namun dua kemungkinan penyebab respon *particle motion* pada titik TA12 tidak langsung disimpulkan apakah disebabkan oleh faktor pertama atau kedua karena responnya sama jika hanya berdasarkan analisis pergerakan partikel (*particle motion*).

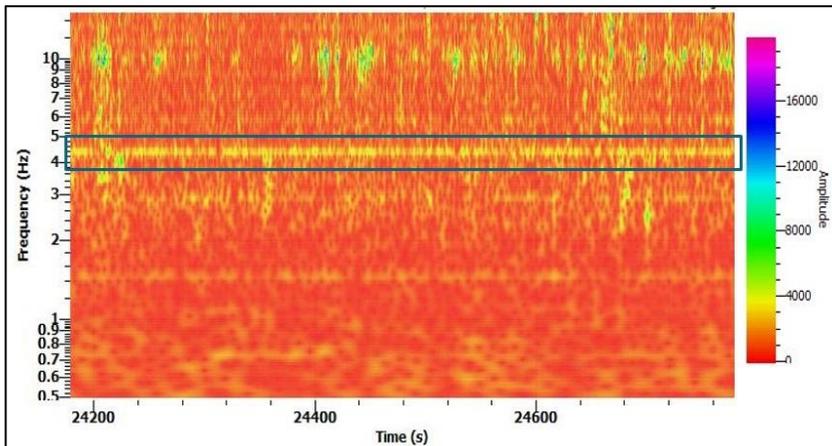
#### 4.3 Hasil Data *Time Frequency Analysis* (TFA)



Gambar 4.14 Hasil TFA komponen E pada titik KALIBRASI



Gambar 4.15 Hasil TFA komponen N pada titik KALIBRASI



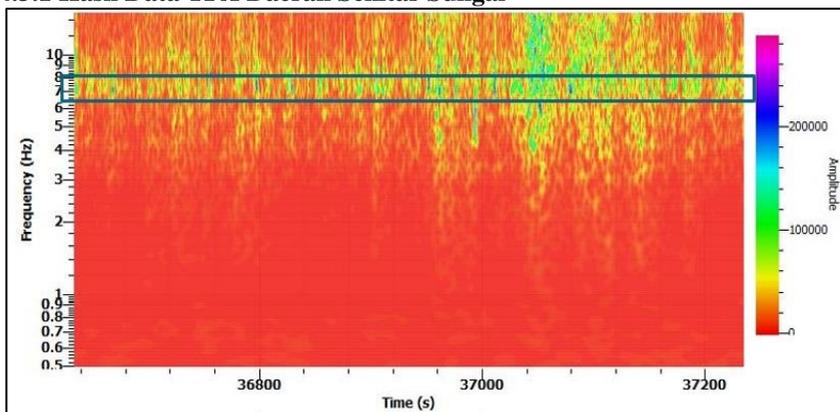
Gambar 4.16 Hasil TFA komponen Z pada titik KALIBRASI

Pada pengolahan *Time Frequency Analysis* (TFA) ini dilakukan analisa amplitudo terhadap 3 komponen pada masing-masing titik-titik pengukuran mikrotrremor 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

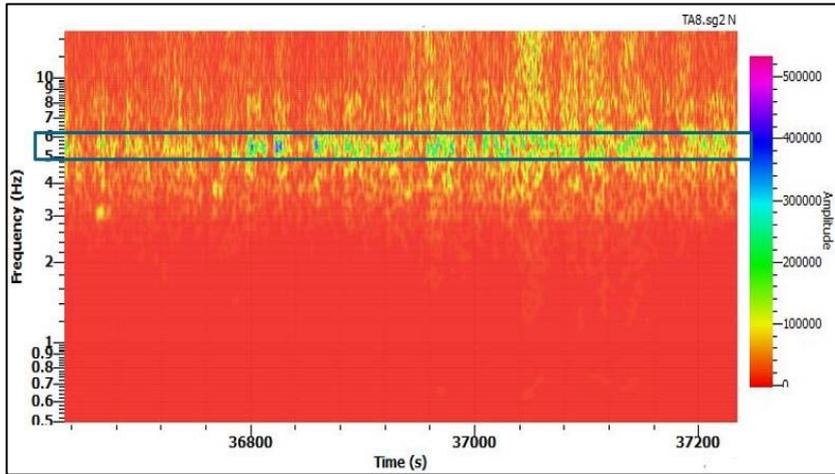
yang tetap sepanjang kompoonen x (rentang waktu) dan juga sepanjang komponen y (rentang frekuensi) dimana sungai diketahui memiliki rentang frekuensi 4-14 Hz.

Pada titik KALIBRASI yang lokasi pengukurannya tepat berada di atas luweng Kuniran II yang dialiri sungai dilakukan pengukuran mikrotremor untuk melihat respon hasil TFA pada titik tersebut untuk acuan terhadap titik-titik lainnya baik di daerah sungai maupun non-sungai. Pada gambar 4.14 terlihat hasil TFA dari komponen E pada titik KALIBRASI. Pada gambar 4.14 ini terlihat bahwa amplitudo pada rentang waktu 10 menit menunjukkan kontinuitas yang kurang signifikan karena berada pada rentang frekuensi antara rendah sampai tinggi sehingga tidak bisa ditentukan *interestnya* berada pada rentang frekuensi berapa. Hal ini dikarenakan memang berdasarkan lokasi pengukuran arah aliran sungai bergerak dari Timur-Barat (E-W) sehingga komponen (E) ini menunjukkan frekuensi dan amplitudo yang acak dan tidak kontinu. Kemudian pada gambar 4.15 dan gambar 4.16 yang merupakan hasil TFA komponen Utara-Selatan (N) dan komponen Vertikal (Z) menunjukkan daerah *interest* yaitu amplitudo yang bernilai 2.000-2.500 dB yang kontinu dan tetap pada rentang frekuensi 4-5 Hz. Pada gambar 4.16 yang merupakan komponen (Z), amplitudo yang kontinu terlihat lebih kontras dan jelas dibandingkan dengan gambar 4.15 yang merupakan komponen (N), yang lebih dominan mengalami amplitudo yang kontinu adalah komponen (Z) atau dapat dikatakan aliran sungai mempengaruhi kontinuitas hasil TFA pada suatu komponen tertentu di titik tersebut. Berdasarkan pengukuran di titik KALIBRASI, seharusnya titik-titik di sekitar sungai menunjukkan respon yang serupa pada titik acuan ini.

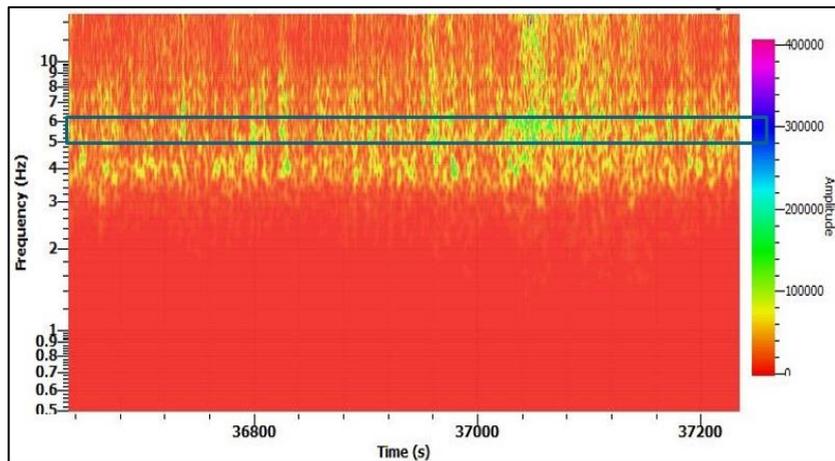
### 4.3.1 Hasil Data TFA Daerah Sekitar Sungai



Gambar 4.17 Hasil TFA komponen E pada titik TA8



Gambar 4.18 Hasil TFA komponen N pada titik TA8



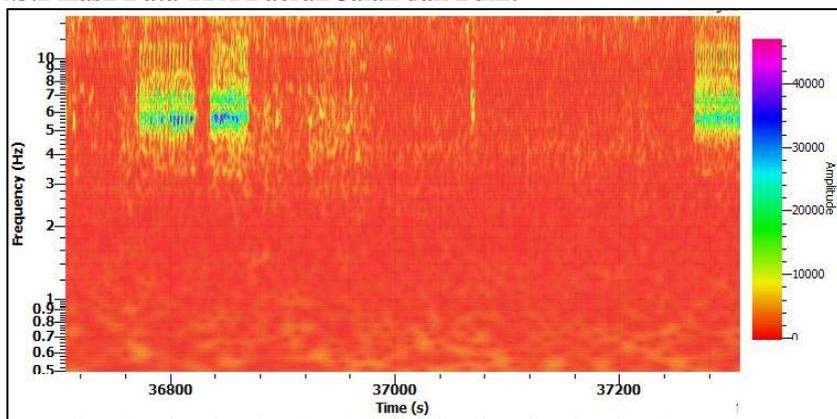
Gambar 4.19 Hasil TFA komponen Z pada titik TA8

Pada pengolahan *Time Frequency Analysis* (TFA) di daerah sekitar sungai diambil salah satu titik untuk dianalisis hasil TFA pada titik tersebut. Titik yang diambil di daerah ini adalah titik TA8 karena berdasarkan lokasi pengukuran mikrotremor, titik ini berada tepat di atas jalur kelok sungai yang artinya aliran sungai berada di bagian Tenggara dan Barat Daya-Barat dari titik TA8. Pada gambar 4.17 yang merupakan hasil TFA komponen Timur-Barat (E) titik TA8 menunjukkan *interest* pada rentang frekuensi 7-8 Hz yang memiliki

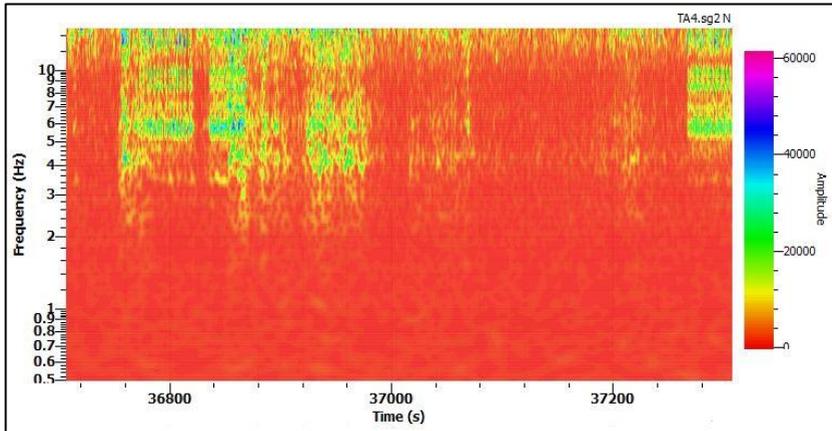
amplitudo yang kontinu sepanjang rentang waktu 10 menit dengan nilai amplitudo yang besar yaitu 20.000-50.000 dB dimana amplitudonya memiliki nilai yang naik turun tidak konstan nilainya namun kontinu di sepanjang rentang waktu dan juga rentang frekuensi. Hal ini dapat terjadi karena titik TA8 berada tepat di pinggir sungai yang secara langsung juga mempengaruhi hasil TFA pada komponen (E) karena sejajar dengan arah aliran sungai Kuniran II dan juga pengaruh angin saat akuisisi data yang menyebabkan terjadi nilai yang tinggi pada titi TA8.

Selain itu, pada gambar 4.18 dan gambar 4.19 yang merupakan hasil TFA komponen N dan komponen Z pada titik TA8 juga menunjukkan adanya amplitudo yang kontinu sepanjang rentang waktu 10 menit pada rentang frekuensi 5-6 Hz dengan nilai amplitudo 20.000-50.000 dB dimana pada kompenen N yang ditunjukkan gambar 4.18 terdapat amplitudo yang cukup besar sampai 50.000 dB. Hal ini dapat terjadi karena memang aliran sungai mengapit titik TA8 sehingga menghasilkan nilai amplitudo yang besar serta litologi dari titik pengukuran sehingga berpengaruh secara langsung nilai amplitudo pada komponen N dan Z titik TA8 yang orientasi letak sungainya berada di bagian Tenggara dan Barat Daya-Barat dari titik pengukuran. Hal ini mengindikasikan bahwa ketika pengukuran dilakukan di samping sungai bukan di atas sungai hasil TFA pada 3 komponen menunjukkan *interest* amplitudo yang kontinu pada rentang frekuensi tertentu dan pada sepanjang waktu pengukuran mikrotremor.

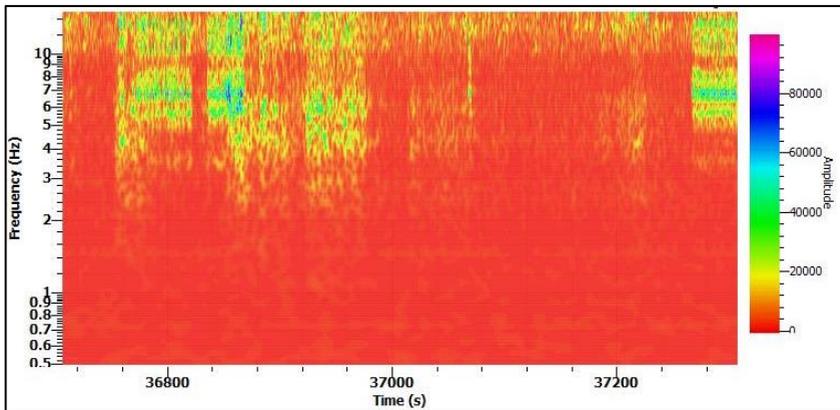
#### 4.3.2 Hasil Data TFA Daerah Jalan dan Bukit



Gambar 4.20 Hasil TFA komponen E pada titik TA4



Gambar 4.21 Hasil TFA komponen N pada titik TA4

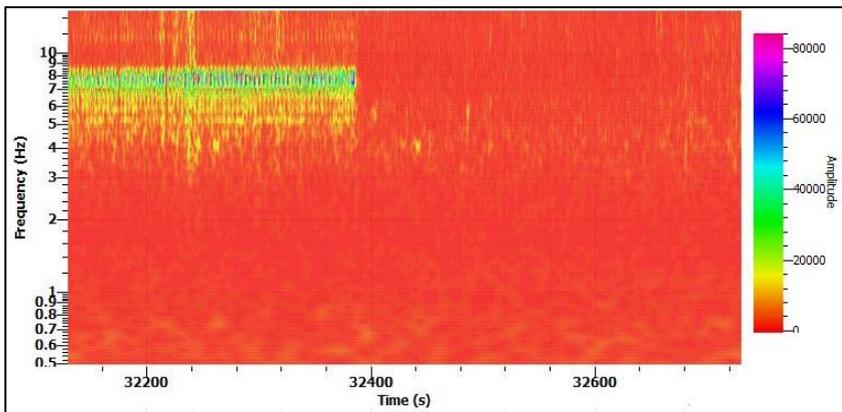


Gambar 4.22 Hasil TFA komponen Z pada titik TA4

Pada pengolahan *Time Frequency Analysis* (TFA) di daerah jalan diambil salah satu titik untuk dianalisis hasil TFA pada titik tersebut. Titik yang diambil di daerah ini adalah titik TA4 karena berdasarkan lokasi pengukuran mikrotremor, titik ini berada di pinggir di antara dua jalan sehingga dapat dianalisis pengaruh jalan terhadap hasil TFA dari ketiga komponennya apakah kontinu atau tidak. Pada gambar 4.20 yang merupakan hasil TFA komponen Timur-Barat (E) titik TA4 tidak menunjukkan adanya kontinuitas nilai amplitudo pada rentang frekuensi tertentu sepanjang waktu pengukuran 10 menit. Pada gambar 4.20 terlihat bahwa amplitudo dengan nilai 15.000-35.000 dB terjadi pada rentang waktu kurang 120 s atau 2 menit dan berada pada rentang frekuensi

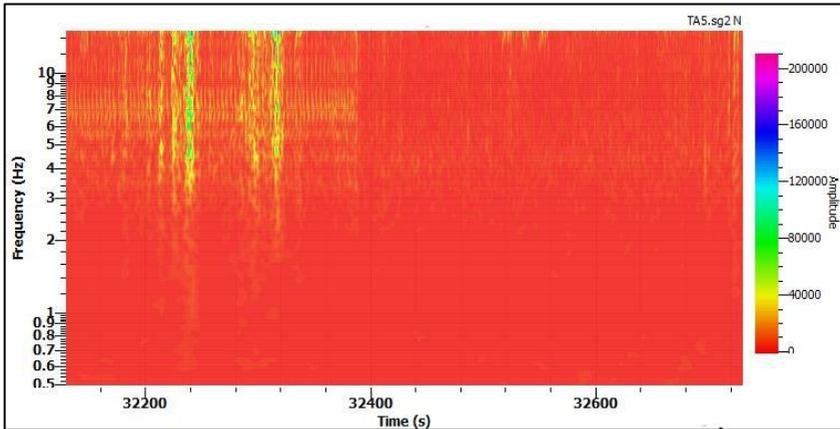
antara 5-8 Hz. Berdasarkan lokasi pengukuran, amplitudo ini dapat terjadi bukan karena sumber alami (*natural source*) tapi dikarenakan adanya kendaraan yang melewati jalan tersebut sehingga terjadi amplifikasi yang sesaat yang ditunjukkan oleh nilai amplitudo yang diskontinu pada rentang frekuensi yang tidak tetap.

Selain itu pada gambar 4.21 dan gambar 4.22 yang merupakan hasil TFA komponen N dan kompenen Z pada titik TA4 juga tidak menunjukkan adanya amplitudo yang kontinu pada rentang frekuensi tertentu selama waktu pengukuran 10 menit. Pada gambar 4.21 dan gambar 4.22 terdapat nilai amplitudo yang besar 15.000-40.000 dB namun tidak kontinu di sepanjang waktu pengukuran dan berada pada rentang 5 sampai >10 Hz yang menandakan tidak adanya rentang yang tetap terhadap nilai amplitudonya. Penyebab adanya amplitudo yang tinggi dikarenakan lokasi pengukuran yang berada di tepi jalan sehingga nilai amplitudo ini tidak disebabkan oleh karena sumber getaran alami namun karena getaran kendaraan yang beberapa kali melewati jalan tersebut yang menimbulkan amplitudo sesaat pada frekuensi besar pada data pengukuran.

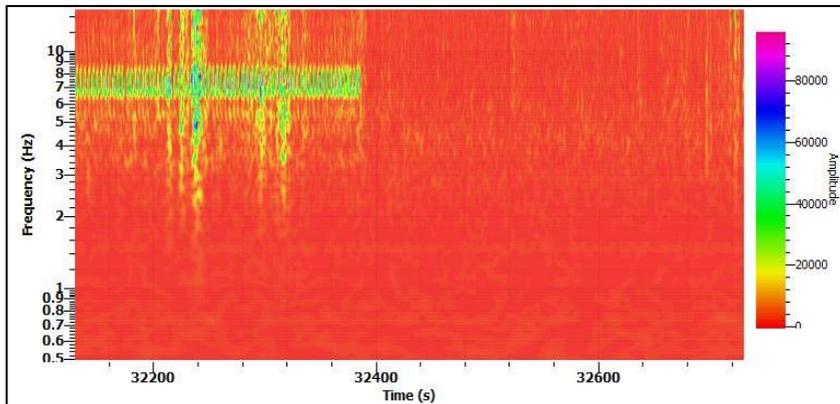


Gambar 4.23 Hasil TFA komponen E pada titik TA5

Begitu pula pengolahan *Time Frequency Analysis* (TFA) pada titik TA5 yang berlokasi di puncak bukit yang tidak terdapat aliran sungai di sekitar maupun di bawahnya juga menunjukkan tidak adanya kontinuitas amplitudo. Pada gambar 4.23 yang merupakan hasil TFA komponen Timur-Barat (E) pada titik TA5 tidak menunjukkan adanya nilai amplitudo yang kontinu sepanjang waktu pengukuran. Pada gambar 4.23 terlihat nilai amplitudo 15.000-45.000 dB hanya terjadi selama rentang waktu selama kurang lebih 4 menit waktu pengukuran mikrotremor antara rentang frekuensi 5-8 Hz.



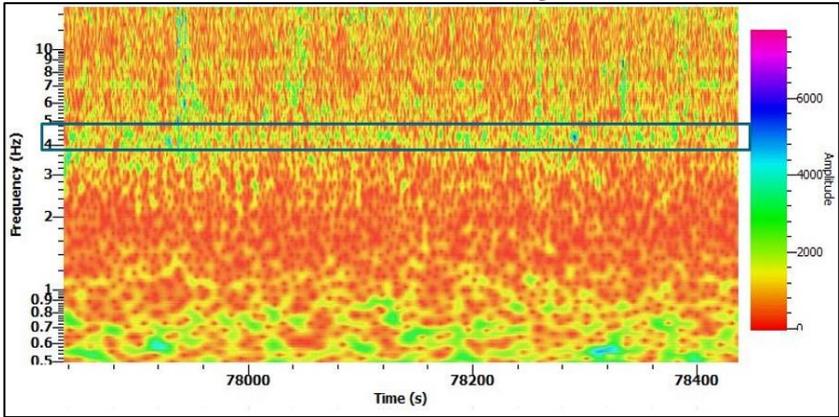
Gambar 4.24 Hasil TFA komponen N pada titik TA5



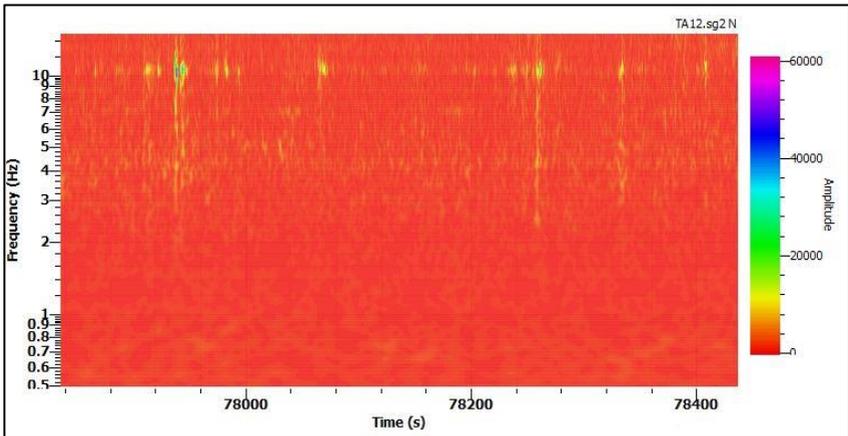
Gambar 4.25 Hasil TFA komponen Z pada titik TA5

Pada gambar 4.24 dan gambar 4.25 yang menunjukkan hasil TFA komponen N dan Z juga tidak menunjukkan adanya kontinuitas amplitudo. Amplitudo yang terjadi pada kedua komponen pada titik TA5 bernilai 20.000-45.000 dB pada rentang frekuensi 6-8 Hz hanya terjadi selama kurang lebih 4 menit dari 10 menit waktu pengukuran mikrotremor. Hal ini menunjukkan bahwa getaran yang dihasilkan pada titik ini disebabkan oleh getaran alami dari bawah bukit itu sendiri karena secara geologi daerah karst Pacitan yang merupakan wilayah pengukuran mengalami pengakatan secara episodik tetapi tidak kontinu seperti aliran sungai hanya terjadi pada momen tertentu saja.

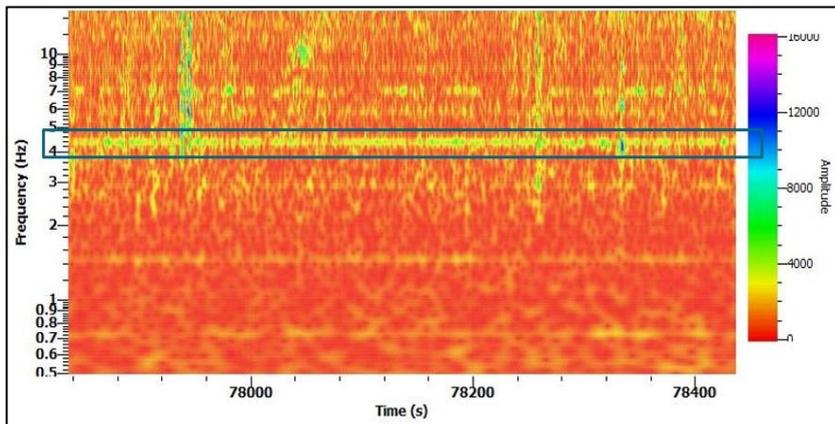
### 4.3.3 Hasil Data TFA Daerah Bukit di Atas Sungai



Gambar 4.26 Hasil TFA komponen E pada titik TA12



Gambar 4.27 Hasil TFA komponen N pada titik TA12



Gambar 4.28 Hasil TFA komponen Z pada titik TA12

Pada pengolahan *Time Frequency Analysis* (TFA) di daerah bukit di atas sungai diambil titik untuk dianalisa hasil TFA nya. Titik TA12 diambil karena berdasarkan lokasi pengukuran, titik ini berada tepat di atas bukit yang dialiri sungai Kuniran II yang merupakan sistem sungai Kedung Banteng yang terdapat luweng Kuniran II dan merupakan awal mula jalur sungai terputus atau hilang dan muncul kembali di balik sungai sehingga dapat dianalisis pengaruh jalan terhadap hasil TFA dari ketiga komponennya apakah kontinu atau tidak. Pada gambar 4.26 yang merupakan hasil TFA komponen Timur-Barat (E) pada titik TA12 memiliki hasil TFA yang serupa dengan gambar 4.14 yang merupakan hasil TFA komponen E titik KALIBRASI dimana terdapat penyebaran amplitudo pada rentang frekuensi yang tidak kontinu pada nilai tertentu namun pada titik TA12 ini terdapat nilai amplitudo yang kontinu sepanjang waktu pengukuran selama 10 menit yang berada pada rentang frekuensi 4-5 Hz dengan nilai amplitudo 2.000-3.000 dB. Adanya nilai amplitudo yang kontinu berdasarkan hasil TFA pada titik 12 ini dapat diinterpretasikan terjadi karena adanya pengaruh aliran sungai di bawahnya namun perlu diidentifikasi komponen N dan Z nya untuk memastikan apakah memang kontinuitas amplitudo pada titik ini disebabkan oleh aliran sungai Kuniran II.

Pada gambar 4.27 dan gambar 4.28 yang merupakan hasil TFA komponen N dan Z pada titik TA12 menunjukkan kontinuitas amplitudo pada satu komponen saja yaitu komponen Z yang berorientasi arah Timu-Barat. Pada gambar 4.27 yang merupakan hasil TFA komponen N titik TA12 tidak menunjukkan adanya kontinuitas amplitudo maupun nilai amplitudo yang signifikan, hanya terjadi amplitudo bernilai 10.000 dB pada rentang frekuensi >10 Hz selama kurang lebih 1 menit dari 10 menit waktu pengukuran. Hal ini

menunjukkan bahwa kontinuitas yang terjadi pada komponen Z di titik ini tidak dipengaruhi oleh getaran dari arah Utara maupun Selatan. Sedangkan pada gambar 4.28 yang merupakan hasil TFA komponen Z titik TA12 menunjukkan adanya kontinuitas nilai amplitudo 2.000-3.000 dB pada rentang frekuensi 4-5 Hz selama waktu pengukuran mikrotremor. Hal ini mengindikasikan bahwa aliran sungai mempengaruhi kontinuitas amplitudo komponen Z karena aliran sungai Kuniran II berada di bawah bukit lokasi titik TA12 yang mempengaruhi secara langsung komponen Z pada hasil TFA titik TA12 sehingga dapat diinterpretasikan bahwa daerah bukit yang dialiri sungai di bawahnya menunjukkan kontinuitas amplitudo pada komponen vertikal dari hasil TFA.

#### 4.4 Pembahasan



Gambar 4.29 Zonasi berdasarkan nilai  $f_0$

Berdasarkan hasil *overlay* peta kontur dengan peta akuisisi di Google Earth, terdapat dua zona karakter nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) berdasarkan lokasinya. Zona I merupakan zona dimana karakter nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) bernilai rendah dengan rentang nilai 3,05 – 5,45 Hz yang terletak di pinggir jalan dan juga pinggiran sungai. Sedangkan zona II merupakan zona dimana karakter nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) bernilai tinggi dengan rentang nilai 10,4 – 13,25 Hz yang terletak di bukit dan bukit tepat diatas luweng atau rongga yang dialiri air. Hal ini mengindikasikan bahwa pada zona I sedimen yang terbentuk lebih tebal dibandingkan zona II karena jarak antara sedimen atas dengan *bedrock* lebih jauh yang menyebabkan frekuensi lebih rendah atau dengan kata lain bahwa pada zona I lapisan lunaknya lebih tebal dibandingkan zona II. Faktor sedimen yang lebih tebal pada pinggiran sungai ini selain disebabkan oleh pelapukan batuan itu sendiri

yaitu pelapukan batuan gamping juga disebabkan oleh adanya sedimentasi yang dipengaruhi oleh sungai. Sungai yang mengalir menyebabkan daerah di sekitarnya mengalami sedimentasi secara terus - menerus sehingga menghasilkan di daerah samping sungai memiliki sedimen yang tebal. Sedangkan pada zona II yang terletak di atas bukit memiliki nilai yang besar karena pada daerah Pacitan ini merupakan kawasan karst gunung sewu sehingga dipastikan batuan yang terbentuk merupakan batuan karst yang bersifat batuan keras (*bedrock*) dan tipisnya lapisan sedimen pada daerah bukit karena tidak adanya endapan pada zona II dan sedimen yang terbentuk hanya merupakan pelapukan dari batu gamping itu sendiri. Namun berbeda dengan titik KALIBRASI, nilai tinggi yang dimunculkan disebabkan oleh adanya rongga dan juga dialiri air tepat di bawah titik pengukuran sehingga dapat dikatakan bahwa karakter zona II dapat disebabkan oleh lapisan sedimen yang tipis atau terdapat rongga yang dialiri air di bawahnya.

Selain itu jika dikorelasi dengan data resis 2D hasil pengukuran di wilayah samping sungai yang lintasan pengukurannya berada tepat di depan titik TA8, TA9, dan TA10 yang dibatasi oleh aliran sungai sistem Kedung Banteng juga menunjukkan bahwa di daerah aliran sungai memiliki ketebalan lapisan sedimen yang menyerupai dengan hasil perhitungan ketebalan lapisan sedimen (lapisan lunak) berdasarkan rumus:

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

Dimana:

$f_0$  = Frekuensi Dominan (Hz)

$V_s$  = Cepat rambat gelombang pada lapisan sedimen (m/s)

$H$  = Ketebalan lapisan sedimen (m)

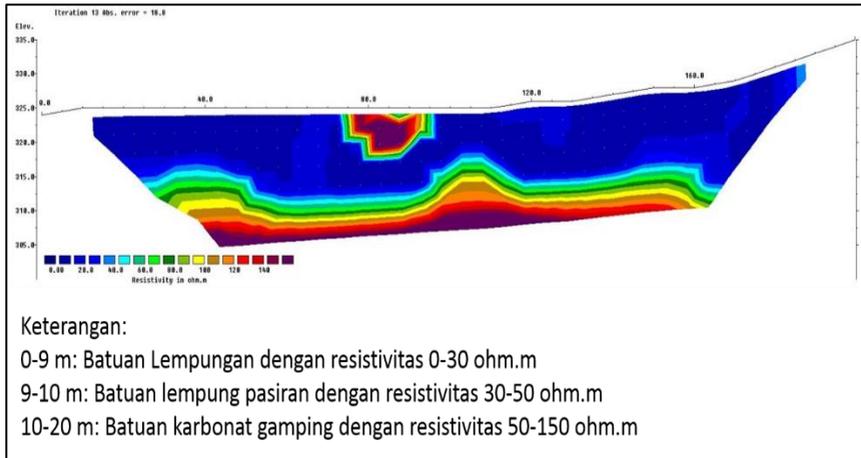
Berdasarkan perhitungan rumus (4), jika diambil titik TA9 yang memiliki frekuensi dominan ( $f_0$ ) 3,95 Hz dan memiliki  $V_s$  200 m/s berdasarkan data USGS menghasilkan ketebalan sedimen:

$$H (\text{ketebalan}) = \frac{V_s}{4f_0}$$

$$H (\text{ketebalan}) = \frac{200 \text{ m/s}}{4 \times 3,95 \text{ Hz}}$$

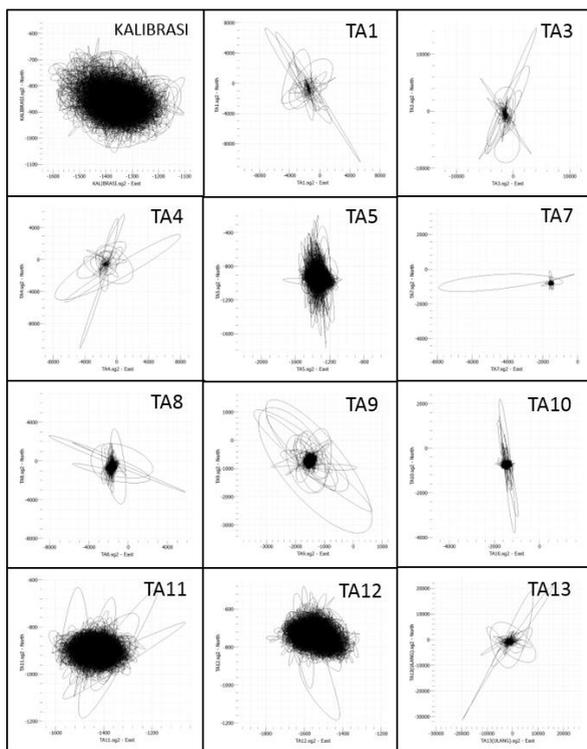
$$H (\text{ketebalan}) = 12,5 \text{ m}$$

Ketebalan sedimen pada titik TA9 yang merupakan daerah sekitar aliran sungai adalah 12,65 m dan pada titik TA8 memiliki ketebalan lapisan sedimen 13,16 m, serta pada titik TA10 memiliki ketebalan lapisan sedimen 11,37 m. Kemudian ketebalan lapisan sedimen ketiga titik berdasarkan rumus (4) ini dikorelasikan dengan hasil penampang resistivitas 2D yang lintasannya mencakup 3 titik ini.



Gambar 4.30 Penampang resistivitas daerah sungai Kuniran II (Fakhriar Naufaldi, 2017)

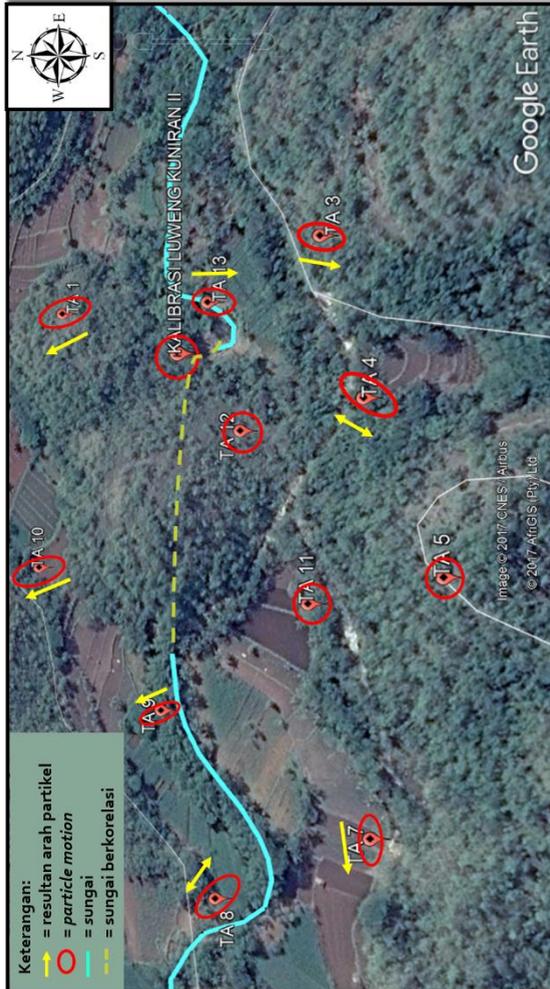
Perhitungan pada gambar 4.30 yang merupakan penampang hasil pengolahan data resistivitas 2D yang dilakukan oleh Fakhriar Naufaldi pada daerah aliran sungai Kuniran II dan berada di sebrang titik pengukuran TA8, TA9, dan TA10 menunjukkan bahwa pada kedalaman 0-9 m merupakan batuan lempungan dengan resistivitas 0-30 ohm.m, pada kedalaman 9-10 m merupakan batuan lempung pasir dengan resistivitas 30-50 ohm.m, dan pada kedalaman 10-20 m merupakan batuan karbonat gamping dengan resistivitas 50-150 ohm.m. Seperti yang diketahui bahwa semakin tinggi nilai resistivitas batuan maka batuan tersebut secara geologi semakin kompak. Hal ini berarti bahwa pada kedalaman 0-10 m di wilayah pengukuran merupakan lapisan sedimen karena memiliki resistivitas 0-50 ohm.m sedangkan pada kedalaman 10-20 m sudah merupakan lapisan batuan keras (*bedrock*). Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.30 dimana warna biru tua merupakan lapisan sedimen batuan lempungan kemudian warna biru muda merupakan lapisan sedimen batuan lempung pasir dan warna hijau-ungu merupakan lapisan batuan gamping karbonat yang juga merupakan lapisan batuan keras (*bedrock*).



Gambar 4.31 Rekapitulasi particle motion 12 titik pengukuran

Selanjutnya, berdasarkan pengolahan data *particle motion* untuk melihat *trend* arah pergerakan partikel di tiap titik data pengukuran, maka dihasilkan karakter pergerakan partikel yang menunjukkan pola tertentu pada tiga jenis wilayah yang dibagi berdasarkan lokasi pengukuran. Pada gambar 4.31 terdapat hasil *particle motion* dari 12 titik pengukuran mikrotremor pada 3 jenis wilayah yaitu: Titik TA1, TA8, TA9, TA10, dan TA13 berlokasi di daerah sekitar sungai kemudian titik TA3, TA4, TA5, TA7, dan TA11 berlokasi di tepi jalan dan juga puncak bukit (TA5) yang tidak ada indikasi aliran sungai di sekitarnya dan titik TA12 yang berlokasi di atas bukit dimana terdapat luweng Kuniran II dan merupakan awal jalur sungai terputus dan muncul kembali di bagian barat dari bukit (orientasi arah aliran sungai adalah Timur-Barat). Selanjutnya setelah

dilakukan pengolahan data *particle motion*, *trend* arah pergerakan partikel yang dihasilkan dibuat shapenya berupa lingkaran yang menunjukkan orientasi arah dari masing-masing titik pengukuran mikrotremor pada peta akuisisi pengukuran, yang kemudian diinterpretasikan secara kualitatif pola atau karakter pergerakan partikel pada daerah sungai dan non-sungai.



Gambar 4.32 Peta korelasi *Particle Motion*

Gambar 4.32 merupakan hasil rekapitulasi *particle motion* dari 12 titik pengukuran pada 3 jenis wilayah. Pada wilayah I yang merupakan daerah aliran sungai, dapat dianalisis bahwa pada titik TA1, TA8, TA9, TA10, dan TA13

memiliki pola resultan arah yang sama yaitu Barat Laut-Tenggara (NW-SE). Hal ini memang dikarenakan titik-titik ini diletakkan sejajar terhadap aliran sungai yang memiliki orientasi arah Timur-Barat (E-W) dimana pada gambar 4.32 terlihat warna biru muda merupakan sungai yang merupakan bagian dari sistem sungai Kedung Banteng, sedangkan pada titik TA1 tidak di dekat aliran sungai karena memang di kaki bukit dimana sungai menghilang. Selain itu hasil ini juga menentukan pola tertentu bahwa pada titik-titik pengukuran di sekitar sungai memiliki resultan arah yang tegak lurus terhadap aliran sungai dimana aliran sungai berarah Timur-Barat (E-W) dan resultan arah dari *particle motion* titik-titik pengukuran berorientasi Barat Laut-Tenggara (NW-SE). Hal ini dapat diindikasikan bahwa sungai berperan sebagai sumber (*source*) terhadap titik pengukuran. Sedangkan pada wilayah II yang berlokasi di tepi jalan dan puncak bukit yang tidak terdapat indikasi aliran sungai serta Wilayah III yang berlokasi di atas luweng Kuniran II dimana awal mula sungai terputus tidak menunjukkan pola tertentu berdasarkan hasil *particle motion*nya.

Kemudian berdasarkan hasil *Time Frequency Analysis* (TFA), pada daerah sungai sungai yaitu titik TA1, TA8, TA9, TA10, dan TA13 memiliki karakter pada komponen vertikal (Z) memiliki kontinuitas amplitudo pada rentang frekuensi tertentu meskipun nilai amplitudonya tidak konstan pada setiap titik pengukuran di daerah sekitar sungai. Nilai amplitudo yang tidak konstan pada daerah di sekitar sungai dapat dipengaruhi oleh dua faktor. Pertama, faktor penyebab tidak konstannya nilai amplitudo adalah adanya *noise* atau pengaruh getaran yang tidak disebabkan oleh aliran sungai namun dapat disebabkan oleh pergerakan akar tumbuhan di sekitar titik pengukuran. Kedua, faktor peristiwa geologi yang terjadi pada daerah karst Pacitan yaitu tenaga endogen yang menyebabkan pengangkatan episodic pada daerah ini yang mempengaruhi secara langsung nilai amplitudo pada hasil TFA. Namun kontinuitas dari amplitudo hasil TFA hanya dipengaruhi oleh aliran sungai.

Selain itu, berdasarkan hasil TFA dapat diinterpretasikan bahwa menunjukkan kontinuitas amplitudo pada salah satu komponen yang dominan dari hasil TFA dan berdasarkan hasil pengolahan serta lokasi pengukuran, dapat diinterpretasikan bahwa komponen vertikal (Z) yang menjadi komponen utama untuk melihat karakter kontinuitas amplitudo hasil TFA pada daerah sungai untuk selanjutnya digunakan sebagai identifikasi sungai bawah permukaan karena aliran sungai di bawah titik pengukuran berpengaruh secara langsung terhadap komponen vertikal TFA yang kontinu karena getaran yang dihasilkan aliran sungai menimbulkan amplitudo yang kontinu terhadap permukaan yang terukur melalui data microtremor dengan nilai amplitudo yang tidak konstan di tiap titiknya antara 2.000- 10.000 dB pada rentang frekuensi 4-5 Hz.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

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

1. Berdasarkan analisis kurva HVSR, pada wilayah penelitian 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.
2. 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.
3. 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).
4. 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.

### 5.2 Saran

Identifikasi sungai bawah permukaan pada penelitian ini disarankan untuk mengembangkan rumus vektor pada resultan gerak partikel (*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., Suprojo. S.W., 1999. *Kawasan Karst dan Prospek Pengembangannya di Indonesia*. Prosiding Seminar PIT IGI di Universitas Indonesia, 26-27 Oktober 1999
- BAPPEDA JATIM (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Provinsi Jawa Timur), 2013. *Potensi dan Produk Unggulan Jawa Timur hal 01 – 09*. <http://bappeda.jatimprov.go.id/>
- Cohen, L. 1995. *Time-Frequency Analysis*. New York: Prentice-Hall.
- ESDM., 2014. *Penetapan Kawasan Bentang Alam Karst Gunung Sewu*. Kepmen ESDM No 3045 K/40/MEM/2014
- Ford, D. and Williams, P. 1992. *Karst Geomorphology and Hydrology*, Chapman and Hall, London
- Haryono, Eko., Adji, T.N., 2004. *Bahan Ajar Geomorfologi dan Hidrologi Karst*. Kelompok Studi Karst Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Kumar, Praveen, and Foufoula, Efi. 1994. *Wavelet in Geophysics*. San Diego: Academic Press.
- Naufaldi, Fakhriar. 2017. *Aplikasi Metode Resistivitas 2D Pada Sistem Aliran Sungai Bawah Permukaan Kedung Banteng, Pacitan, Jawa Timur*. Tugas Akhir Departemen Teknik Geofisika ITS, Surabaya
- Nurhanafi, Kholis., Wibowo, N.B., Sumardi, Y., 2016. *Karakteristik Mikrotremor di Permukaan Sungai Bawah Tanah Bribin, Kawasan Karst Gunung Sewu, Berdasarkan Analisis Spektrum, Analisis Kurva Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr), dan Time Frequency Analysis (TFA)*. Jurdik Fisika FMIPA UNY, Yogyakarta
- Sitorus, Nomensen., Purwanto, Singgih., dan Utama, Widya. 2017. *Analisa Nilai Frekuensi Natural dan Amplifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor HVSr*. Jurnal GEOSAINTEK Vol 3, No 2 hal 89- 92, Surabaya
- Surono, Toha, B., dan Sudarno, I., 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta-Girintontro, Jawa, Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung

Triana, Karlina., 2013. *Laporan Studi Lapangan Geologi Regional Pegunungan Selatan, Jawa Tengah*. Kementrian Pendidikan Nasional Universitas Gadjah Mada, Program Pascasarjana Fakultas Teknik Program Studi S-2 Teknik Geologi, Yogyakarta

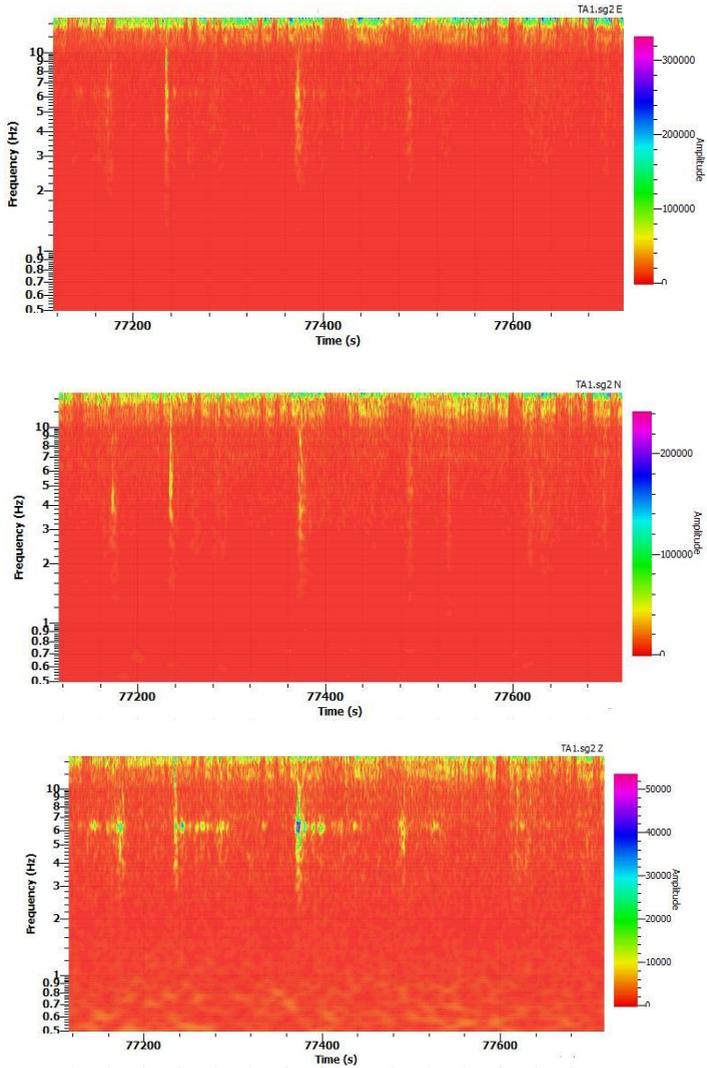
Internet:

[www.ecn.purdue.edu/.../gishyd.html](http://www.ecn.purdue.edu/.../gishyd.html)\_(diakses pada hari Minggu, 20 Agustus 2017 pukul 17.00)

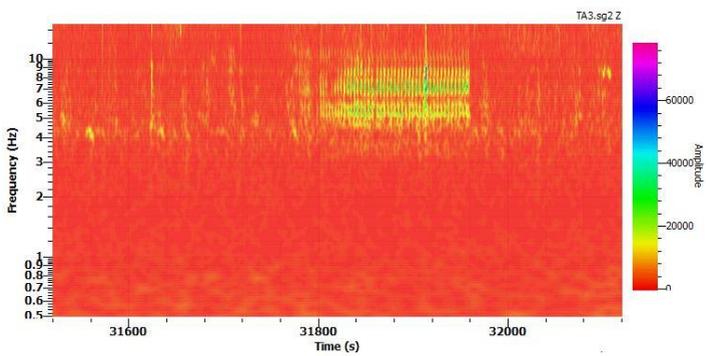
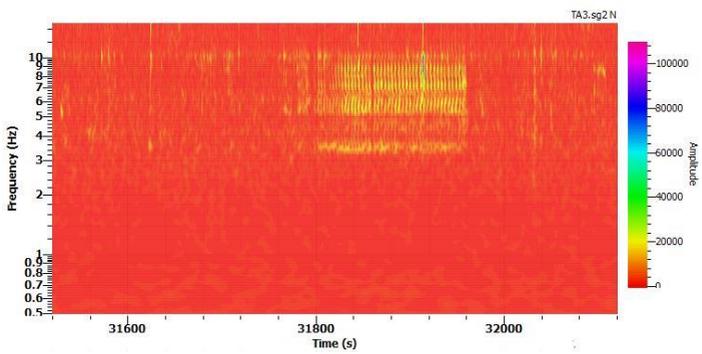
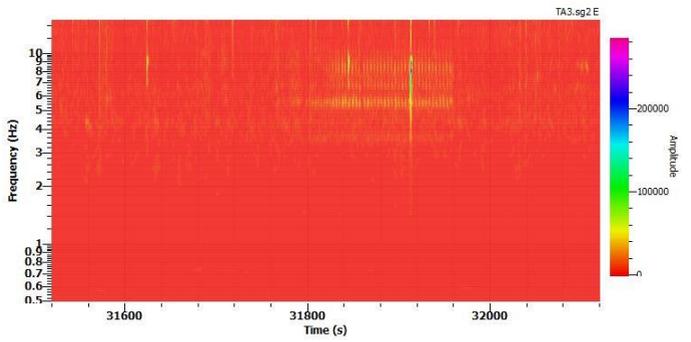
<http://www.eccentrix.com/members/hydrogeologie/hidrogeol/karst.gif> (diakses pada hari Minggu, 20 Agustus 2017 pukul 17.00)

# LAMPIRAN

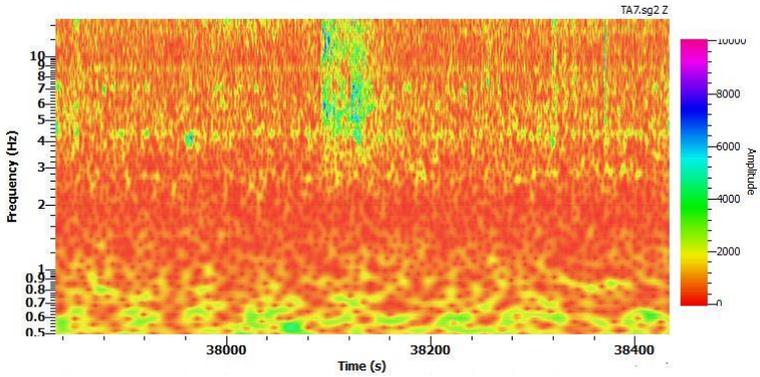
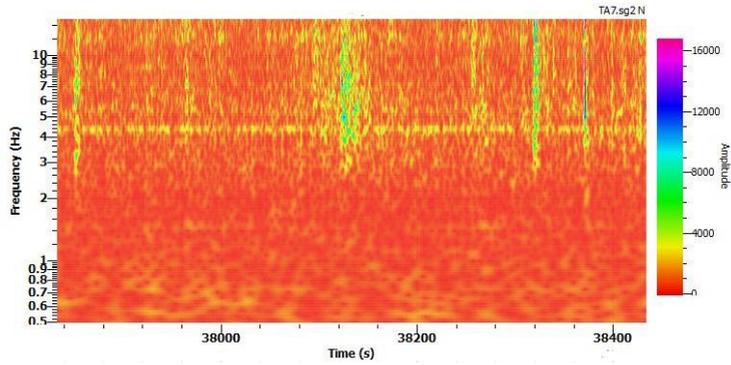
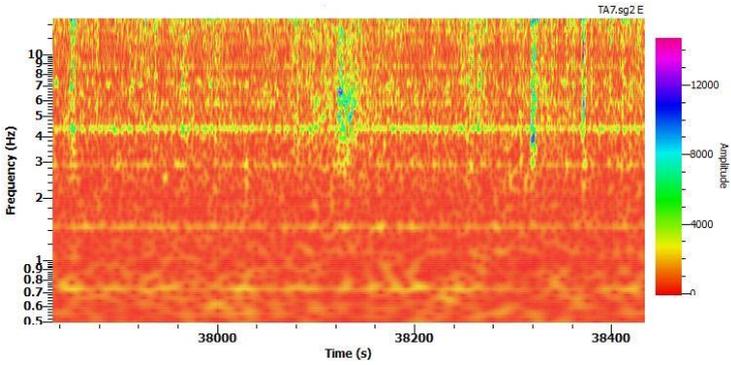
## Hasil TFA titik TA1



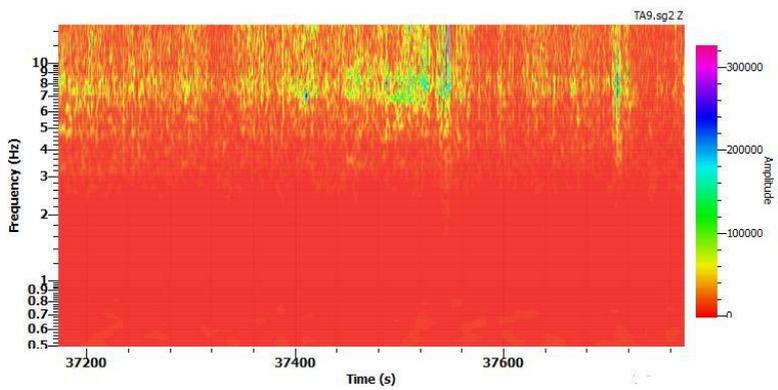
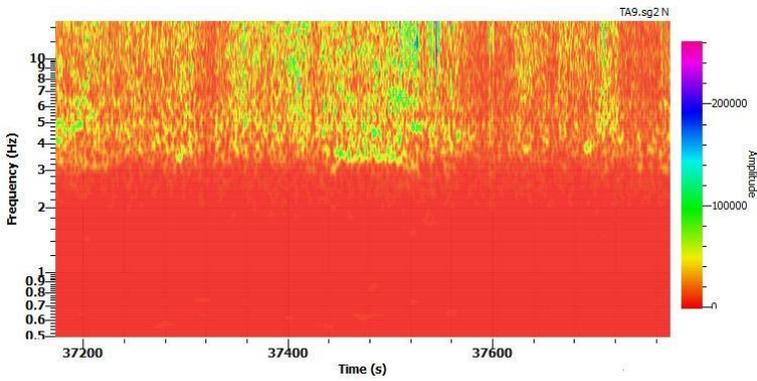
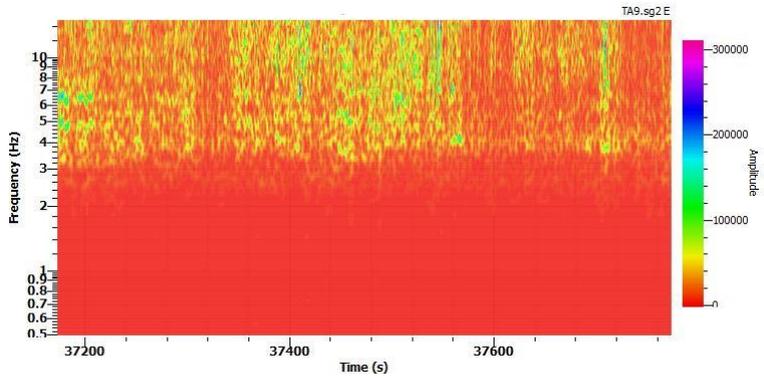
# Hasil TFA titik TA3



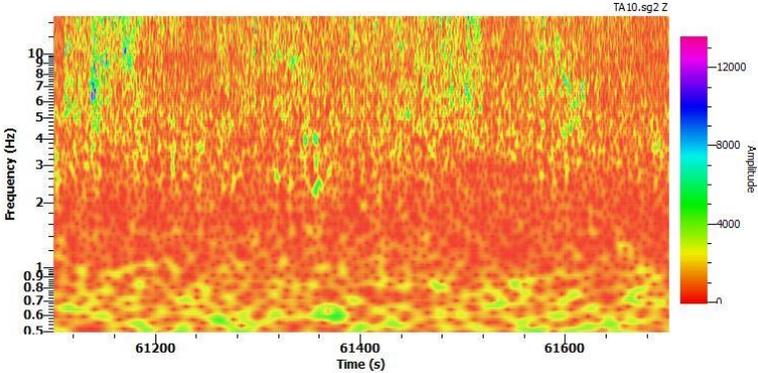
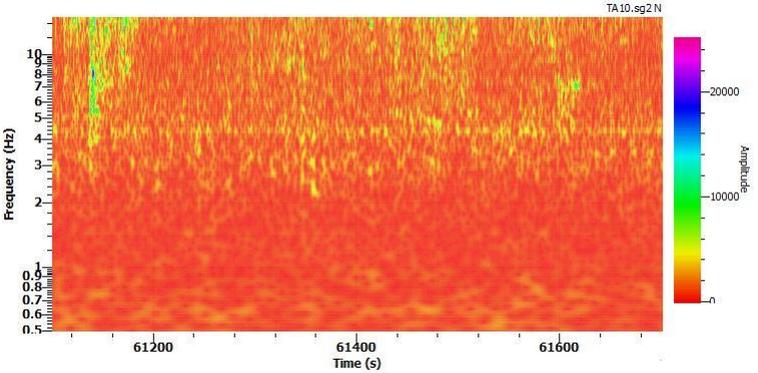
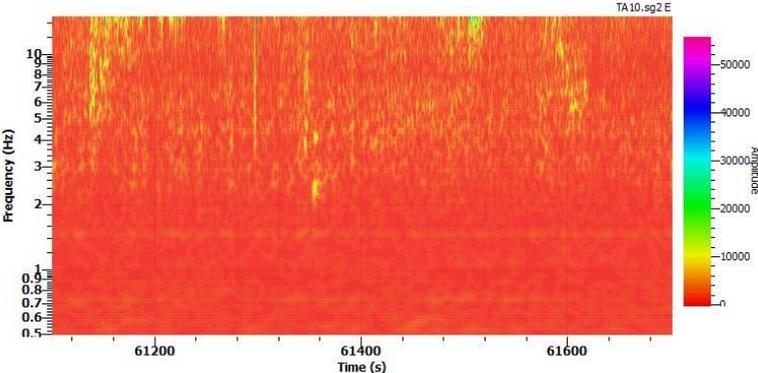
# Hasil TFA titik TA7



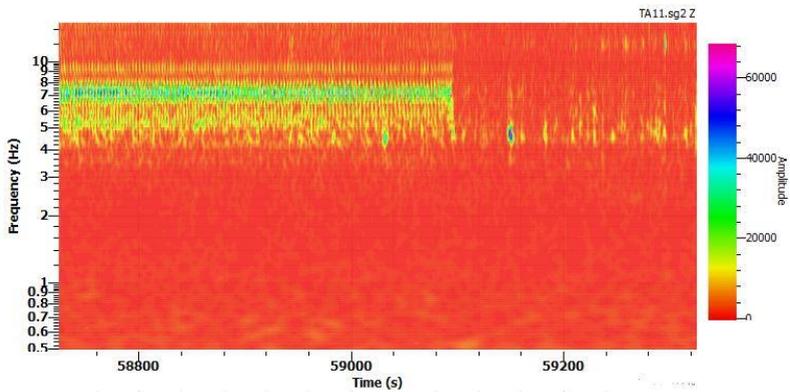
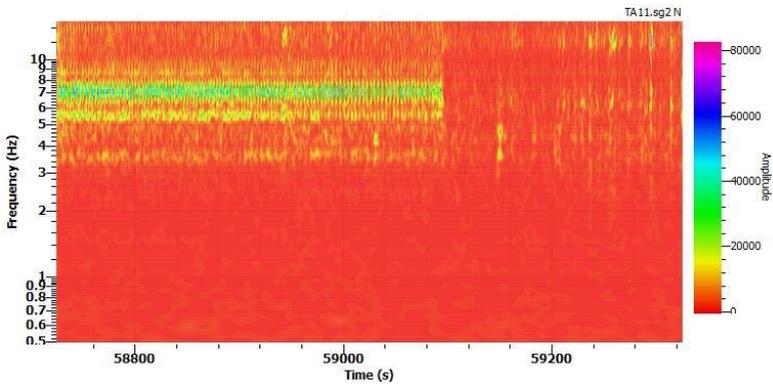
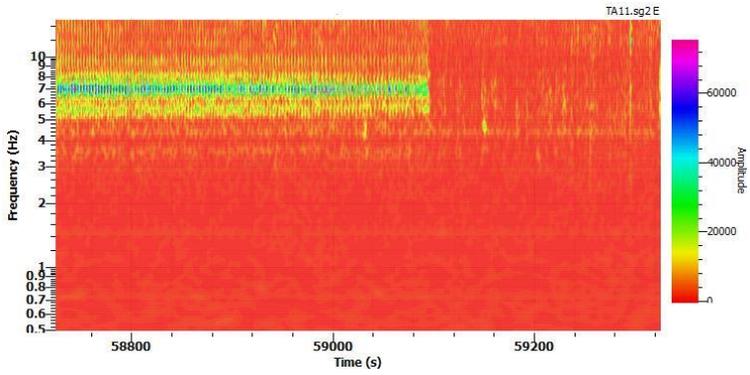
# Hasil TFA titik TA9



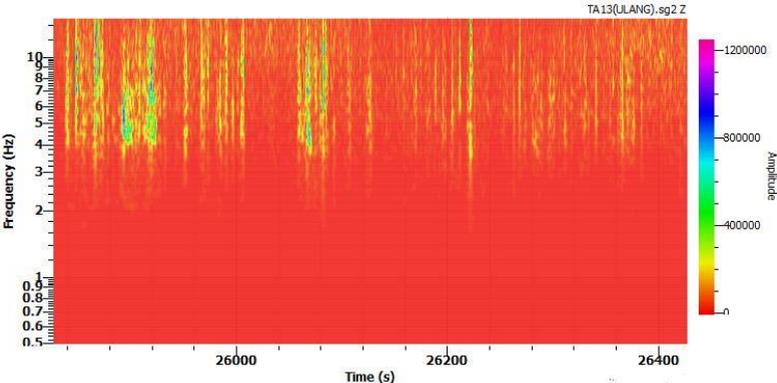
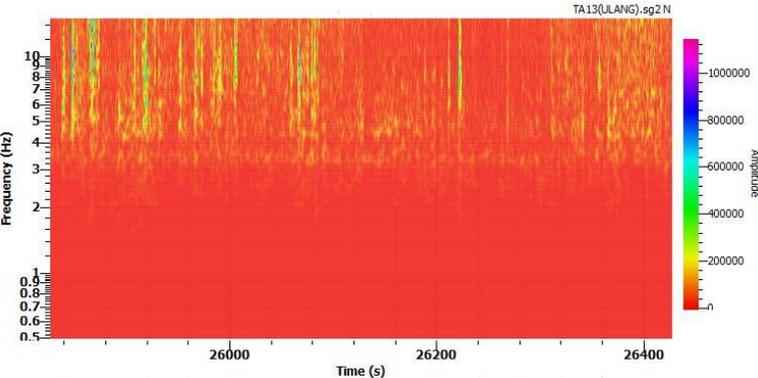
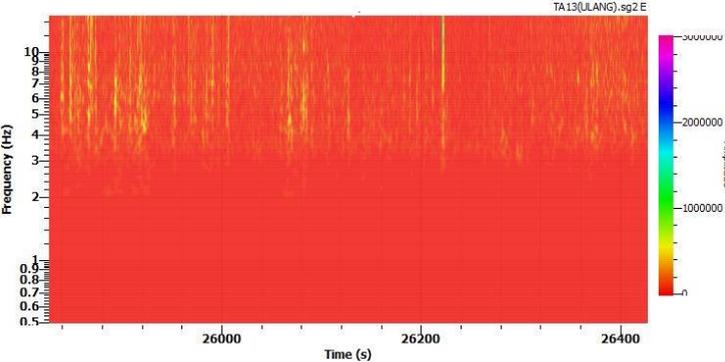
# Hasil TFA titik TA10



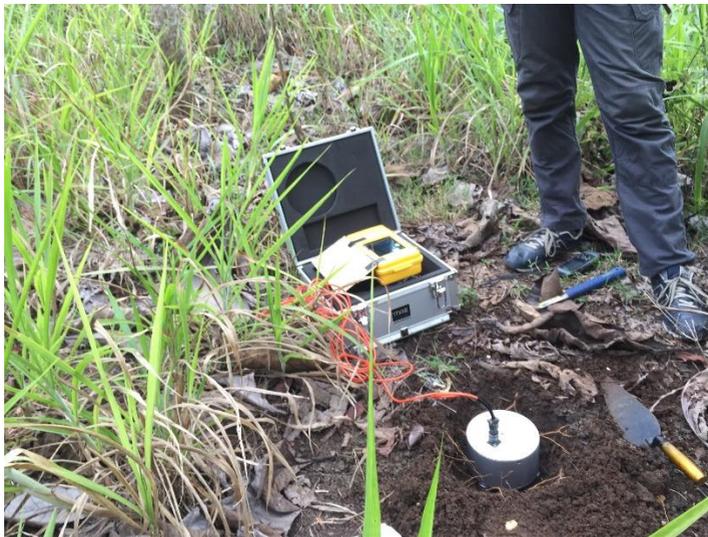
# Hasil TFA titik TA11



Hasil TFA titik TA13



## Dokumentasi akuisisi data









*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Paul Chemistra lahir di Bekasi, 21 September 1995 merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di TKK IPEKA (Iman, Pengharapan, dan Kasih) Kota Legenda, SDK IPEKA Kota Legenda (2001 – 2007), SMPK IPEKA Grand Wisata (2007 – 2010), dan SMAN 2 Bekasi (2010 – 2013). Penulis masuk di Jurusan Teknik Geofisika ITS pada tahun 2013. Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS penulis mendapatkan banyak pengalaman berorganisasi, dimulai dari menjadi *Staff* Divisi Media dan Informasi Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HMTG) ITS (2014-2015), menjadi ketua Divisi *External Event* Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS (2015-2016), menjadi *Staff of Internalization* SPE (*Society of Petroleum Engineer*) ITS SC (2015-2016), dan menjadi *Head of Internal Affair Department* SPE ITS SC (2016-2017). Beberapa kali mengikuti kegiatan kepanitiaan seperti *Petroleum Integrated Days* (PETROLIDA 2015, PETROLIDA 2016) sebuah acara kompetisi skala internasional selama 4 hari dengan mengundang peserta dari berbagai universitas dari beberapa negara dan berbagai ahli pada bidang eksplorasi dan eksploitasi migas sebagai juri, dan menjadi ketua acara *Geophysics Atmosphere* (Geosphere2016) sebuah acara skala nasional yang mengundang peserta dari berbagai universitas di Indonesia.

Pada bidang akademik selain melakukan kegiatan perkuliahan, penulis juga mengikuti kompetisi bidang akademik diantaranya menjadi peserta kompetisi *Petrobowl* pada APOGCE (*Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition*) di Nusa Dua, Bali tahun 2015, peserta kompetisi *Plan of Development* yang diadakan oleh SPE Trisakti SC pada tahun 2016, menjadi Juara 3 kompetisi *Geo-log* pada PDPUSPE FEST'16 yang diadakan oleh PDPUSPE SC di Ahmedabad, India pada tahun 2016 dan menjadi finalis lomba Smart Competition pada OGIP 2017 yang diadakan oleh SPE UPN SC di Yogyakarta.

Penulis berpesan untuk teman–teman adik kelas Tg-3, Tg-4, Tg-5, dan Tg-selanjutnya untuk selalu berkarya dan jangan pernah menyerah, perbanyak prestasi kalian karena dengan itu nama Departemen Teknik Geofisika akan selalu

terdengar. Selalu perkuat ikatan di angkatan dan antar angkatan dengan HMTG sebagai wadahnya dan jika dalam waktu dekat HMTG belum menjadi ‘rumah’ bagi kalian, maka suatu saat akan menjadi ‘rumah’ bagi angkatan bawah yang akan masuk, tetap berikan nilai dan semangat berhimpun ke mahasiswa baru sehingga HMTG suatu saat akan menjadi ‘rumah’ yang semakin besar. Setelah lulus penulis memiliki cita – cita mendapatkan beasiswa studi S2 di Manajemen UI atau ITB pada tahun 2018. Lalu dapat berkerja, berkarir, dan produktif dalam penelitian di industri migas (*Oil Company, Oil Service*, maupun sektor pemerintahan) pada tahun 2019. Jika ingin berdiskusi lebih jauh terkait Tugas Akhir atau ingin menghubungi penulis dapat melalui paulchemistra@gmail.com, sekian dan terimakasih.