



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF184838

**ANALISIS SPEKTRUM VHSR DAN POLARISASI
MENGUNAKAN METODE *PRINCIPAL COMPONENT
ANALYSIS* (PCA) PADA DAERAH MANIFESTASI DAN NON
MANIFESTASI AIR PANAS.**

ABIYU TSANY
NRP 03411640000062

Dosen Pembimbing I :
Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19611024 198803 1 001

Dosen Pembimbing II :
Mariyanto, S.Si, M.T
NIP. 1991201711044

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



TUGAS AKHIR - RF184838

**ANALISIS SPEKTRUM VHSR DAN POLARISASI
MENGUNAKAN METODE *PRINCIPAL COMPONENT
ANALYSIS* (PCA) PADA DAERAH MANIFESTASI DAN NON
MANIFESTASI AIR PANAS.**

ABIYU TSANY
NRP 03411640000062

Dosen Pembimbing I :
Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19611024 198803 1 001

Dosen Pembimbing II :
Mariyanto, S.Si, M.T
NIP. 1991201711044

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

Halaman ini sengaja dikosongkan



UNDERGRADUATE THESIS- RF184838

**VHSR SPECTRUM ANALYSIS AND POLARIZATION USING THE
PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA) METHOD IN THE
HOT SPRING MANIFESTATION AND NON MANIFESTATION
AREAS**

ABIYU TSANY
NRP 0341164000062

Advisor I :
Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19611024 198803 1 001

Advisor II :
Mariyanto, S.Si, M.T
NIP. 19912017111044

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul “Analisis Spektrum VHSR dan Polarisasi Menggunakan Metode *Principal Component Analysis* (PCA) Pada Daerah Manifestasi Air Panas dan Non Manifestasi Air Panas” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 1 Juli 2020



Abiyyu Tsany
NRP. 0341164000062

Halaman ini sengaja dikosongkan

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

Nama : Abiyyu Tsany
NRP : 03411640000062
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Analisis Spektrum VHRS dan Polarisasi Menggunakan Metode *Principal Component Analysis* (PCA) Pada Daerah Manifestasi Air Panas dan Non Manifestasi Air Panas

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

Surabaya, 27 Juli 2020


.....
Dr. Dwa Desa Warnana

NIP. 1961102 4198803 1 001

(Pembimbing I)


.....
Mariyanto, S.Si., M.T

NIP. 1991201711044

(Pembimbing II)


.....
Moh. Singgih Purwanto S.Si., M.T.

NIP. 19800916 200912 1002

(Penguji I)


.....
M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M.Eng.

NIP. 19890208 201803 1 001

(Penguji II)

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



Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si
NIP. 19760123 200003 1 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

Analisis Spektrum VHSR dan Polarisasi Menggunakan *Metode Principal Component Analysis (PCA)* Pada Daerah Manifestasi Air Panas dan Non Manifestasi Air Panas

Nama : Abiyu Tsany
NRP : 03411640000062
Departemen : Teknik Geofisika
Dosen Pembimbing I : Dr. Dwa Desa Warnana
Dosen Pembimbing II : Mariyanto, S.Si, M.T

ABSTRAK

Sistem panasbumi mengekspresikan dirinya melalui fluida pada manifestasi permukaan. Sistem panasbumi melingkupi sumber panas dan fluida yang mengalami perpindahan panas ke arah permukaan. Gunung Pandan adalah salah satu gunung api yang berada di Kabupaten Bojonegoro, Propinsi Jawa Timur dengan manifestasi panasbumi berupa mata air panas dan kolam lumpur. Daerah ini memiliki dua sumber air panas utama sebagai manifestasi panas bumi yaitu daerah Selo Gajah dan Banyukuning. Pada daerah yang terdapat fluida berupa air panas dan yang tidak terdapat fluida memiliki pergerakan partikel yang berbeda. Dengan mengetahui adanya arah pergerakan partikel dapat mengidentifikasi adanya manifestasi panas bumi. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian terkait perbedaan parameter antara daerah yang terdapat manifestasi air panas dan daerah yang tidak terdapat manifestasi air panas. Untuk mengetahui parameter tersebut dapat dengan melakukan metode VHSR (*Vertical to Horizontal Spectral Ratio*) dan *Particle Motion Analysis* dari data mikrotremor. Dari data VHSR tersebut selanjutnya dilakukan *Particle Motion Analysis* menggunakan metode PCA (*Principle Component Analysis*). Nilai parameter PCA digunakan untuk menentukan perbedaan karakteristik dari daerah yang terdapat manifestasi dan daerah yang tidak terdapat manifestasi. Didapatkan hasil analisis dari kurva VHSR tidak ditemukan adanya perbedaan antara daerah manifestasi air panas dan daerah tidak terdapat manifestasi air panas, tidak ditemukan sebuah pola yang membedakan karakteristik dari kedua daerah tersebut. Hasil dari parameter PCA didapatkan bahwa tidak adanya perbedaan antara parameter PCA yang berada di daerah manifestasi air panas dan di daerah tidak terdapat manifestasi air panas. Arah pergerakan partikel di daerah manifestasi air panas mengarah ke utara. Tidak adanya perbedaan dapat diakibatkan oleh durasi perekaman yang kurang panjang dan daerah penelitian termasuk daerah manifestasi tidak begitu besar.

Kata kunci : Panas bumi, *Particle Motion Analysis*, Mikrotremor, PCA, VHSR

Halaman ini sengaja dikosongkan

VHSR Spectrum Analysis and Polarization Using the Principal Component Analysis (PCA) Method in the Hot Spring Manifestation and Non Manifestation Areas

Name : Abiyyu Tsany
Student ID : 03411640000062
Departement : Geophysics Engineering
Advisor 1 : Dr. Dwa Desa Warnana
Advisor 2 : Mariyanto, S.Si, M.T

ABSTRACT

The geothermal system expresses itself through fluid in surface manifestations. The geothermal system encompasses heat and fluid sources which experience heat transfer towards the surface. Mount Pandan is one of the volcanoes in Bojonegoro Regency, East Java Province with manifestations of geothermal in the form of hot springs and mud pools. This area has two main hot springs as manifestations of geothermal energy, namely the Selo Gajah and Banyukuning areas. In areas where there is fluid in the form of hot water and which does not have fluid has different particle movements. By knowing the direction of movement of particles can identify the existence of geothermal manifestations. Therefore it is necessary to conduct research related to differences in parameters between areas that have manifestations of hot water and areas that do not have manifestations of hot water. To find out these parameters can be done by using VHSR (Vertical to Horizontal Spectral Ratio) method and Particle Motion Analysis from microtremor data. From the VHSR data, a Particle Motion Analysis is then performed using the PCA (Principle Component Analysis) method. From the results of PCA parameters can be distinguished characteristics of the regions that have manifestations and areas that do not have manifestations. In this research obtained the results of the analysis of the VHSR curve found that there is no difference between the areas of hot spring manifestation and in areas where there are no manifestations of hot spring, there is no pattern that distinguishes the characteristics of the two regions. The results of the PCA parameters found that there is no difference between the PCA parameters that are in the area of hot spring manifestation and in areas where there are no manifestations of hot spring. The direction of movement of particles in the area of hot water manifestation is to north. The absence of differences can be caused by the recording duration which is not long enough and the manifestation in research area is not so large.

Kata kunci : Geothermal system, Particle Motion Analysis, Microtremor, PCA, VHSR

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat-Nya laporan tugas akhir yang berjudul “Analisis Spektrum VHSR dan Polarisasi Menggunakan Metode Principal Component Analysis (PCA) Daerah Manifestasi Air Panas dan Non Manifestasi Air Panas” ini dapat diselesaikan. Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terlaksanakan baik dengan bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberi kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir , terimakasih juga kepada papah, mamah, kak Arief, Faiza dan semua keluarga yang telah memberi dukungan moril maupun materi selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
2. Dr. Dwa Desa Warnana dan Mariyanto, S.Si., M.T. selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
3. Moh. Singgih Purwanto S.Si., M.T.. dan M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M.Eng.. selaku dosen penguji tugas akhir yang senantiasa memberikan saran hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini.
4. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geofisika ITS yang senantiasa membimbing dan mendidik penulis selama masa perkuliahan.
5. Jajaran Civitas Akademika Departemen Teknik Geofisika ITS yang senantiasa memberikan bimbingan dan izin melakukan berbagai kegiatan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
6. Silvia Lestari, Hanif Falah, Ramaditio Bagus Pradana, dan Bagoes Idcha Mawardi yang telah membantu dalam pengolahan data hingga laporan tugas akhir.
8. Seluruh keluargaku Teknik Geofisika ITS angkatan 2016 atas semangat dan dukungannya selama menjalani kuliah.
9. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat dituliskan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa pengembangan keilmuan tidak berhenti pada satu hasil. Kritik dan saran maupun diskusi diperlukan agar kebermanfaatan laporan tugas akhir ini semakin dirasakan bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 27 Juli 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	xiv
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Dasar Teori	5
2.1.1 Geologi Regional.....	5
2.1.1.1 Fisiografi Daerah Penelitian.....	5
2.1.1.2 Stratigrafi Regional.....	6
2.1.1.3 Sejarah Geologi Daerah Penelitian	9
2.1.1.4 Sistem Geologi Objek Penelitian	14
2.1.2 Mikrotremor	14
2.1.3. <i>Vertical to Horizontal Spectral Ratio (VHSR)</i>	15
2.1.4. <i>Particle Motion Analysis</i>	16
2.2 Penelitian Terdahulu	18
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Data	27
3.2. Diagram Alir Penelitian	28
3.2. Piranti Lunak.....	29
3.3 Langkah Kerja.....	29
3.3.1 <i>Input Data</i>	29
3.3.2 <i>Filtering data</i>	29
3.3.3 Grafik VHSR.....	29
3.3.4 <i>Particle Motion Analysis</i> dengan PCA.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil.....	31
4.1.1 Filtering Data	31
4.1.2 Kurva VHSR	31
4.1.3 <i>Particle Motion Analysis (PCA)</i>	38

4.1.3.1 <i>Dip</i>	38
4.1.3.2 <i>Azimut</i>	39
4.1.3.3 <i>Rectilinearity</i>	41
4.1.3.4 <i>Nilai Eigen Terbesar</i>	43
4.1.3.5 <i>Arah Gerak Partikel</i>	45
4.2 Pembahasan.....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	55
BIOGRAFI PENULIS	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Peta Geologi Bojonegoro Wilayah Selatan modifikasi dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (1992).....	1
Gambar 2. 1	Zonasi Fisiografis Pulau Jawa (Van Bemmelen, 1949).....	5
Gambar 2. 2	Kolom Stratigrafi Komposit Jawa Timur (Prasetyadi, 2007) dengan Penambahan Kurva Eustas Global	6
Gambar 2. 3	Tatanan Lempeng Tektonik Awal Tersier (Paleosen) [kiri] dan saat Eosen Tengah [kanan] (Hall, 2012) yang diambil dari (Novian dan Husein, 2014).....	10
Gambar 2. 4	Tatanan Lempeng Tektonik di Eosen Akhir [kiri] dan saat Oligosen Awal [kanan] (Hall, 2012) yang diambil dari (Novian dan Husein, 2014).....	11
Gambar 2. 5	Tatanan Lempeng Tektonik di Oligosen Akhir [kiri] dan akhir Miosen Bawah [kanan] (Hall, 2012) yang diambil dari (Novian dan Husein, 2014).....	11
Gambar 2. 6	Tatanan Lempeng Tektonik di Miosen Akhir [kiri], dan akhir Pleistosen [kanan] (Hall, 2012) yang diambil dari (Novian dan Husein, 2014)	13
Gambar 2. 7	Pola Struktur Pulau Jawa selama Miosen Awal hingga Miosen Akhir (Sribudiyani dkk., 2003) yang diambil dari (Novian dan Husein, 2014)	13
Gambar 2. 8	Ilustrasi hubungan dari beberapa atribut PCA	17
Gambar 3. 1	Titik Pengukuran untuk daerah sekitar Selo Gajah (Daerah tidak terdapat manifestasi).....	27
Gambar 3. 2	Titik Pengukuran daerah Selo Gajah (Daerah manifestasi).....	27
Gambar 3. 3	Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 3. 4	Contoh Pengolahan VHSR	30
Gambar 3. 5	Contoh Pengolahan PCA	30
Gambar 4. 1	Sinyal mikrotremor yang terekam pada GMM 2.....	31
Gambar 4. 2	Sinyal mikrotremor pada titik GMM 2 setelah di <i>filter</i>	31
Gambar 4. 3	Grafik VHSR GMM 50 (Daerah tidak terdapat manifestasi) ..	32
Gambar 4. 4	Grafik VHSR GMM 69 (Daerah tidak terdapat manifestasi) ..	32
Gambar 4. 5	Grafik VHSR GMM 79 (Daerah tidak terdapat manifestasi) ..	33
Gambar 4. 6	Grafik VHSR GMM 96 (Daerah tidak terdapat manifestasi) ..	33
Gambar 4. 7	Grafik VHSR GMM 97 (Daerah tidak terdapat manifestasi) ..	34
Gambar 4. 8	Grafik VHSR GMM 99 (Daerah tidak terdapat manifestasi) ..	34
Gambar 4. 9	Grafik VHSR GMM 1 (Daerah manifestasi).....	35
Gambar 4. 10	Grafik VHSR GMM 2 (Daerah manifestasi).....	35
Gambar 4. 11	Grafik VHSR GMM 3 (Daerah manifestasi).....	36
Gambar 4. 12	Grafik VHSR GMM 4 (Daerah manifestasi).....	36

Gambar 4. 13	Grafik VHSR GMM 5 (Daerah manifestasi)	37
Gambar 4. 14	Grafik VHSR GMM 6 (Daerah manifestasi)	37
Gambar 4. 15	Parameter dip GMM 1 (Daerah manifestasi)	38
Gambar 4. 16	Parameter dip GMM 50 (Daerah tidak terdapat manifestasi) .	38
Gambar 4. 17	Parameter Azimut GMM 79 (Daerah tidak terdapat manifestasi)	40
Gambar 4. 18	Parameter Azimut GMM 4 (Daerah manifestasi)	40
Gambar 4. 19	Parameter rectilinearity GMM 79 (Daerah tidak terdapat manifestasi).....	41
Gambar 4. 20	Parameter rectilinearity GMM 4 (Daerah manifestasi).....	42
Gambar 4. 21	Parameter Nilai Eigen Terbesar GMM 79 (Daerah tidak terdapat manifestasi).....	43
Gambar 4. 22	Parameter Nilai Eigen Terbesar GMM 4 (Daerah manifestasi)	44
Gambar 4. 23	Arah Gerak Partikel Daerah Manifestasi	45
Gambar 4. 24	Arah Gerak Partikel Daerah Tidak Terdapat Manifestasi	45

DAFTAR TABEL

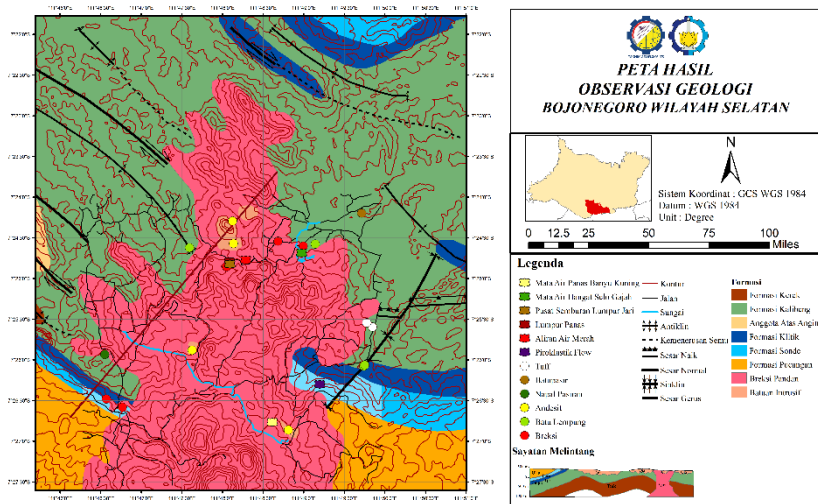
Tabel 3. 1	Piranti Lunak yang digunakan dalam Penelitian	29
Tabel 4. 1	Nilai rata-rata parameter dip	38
Tabel 4. 2	Nilai Rata-rata Parameter Azimut	41
Tabel 4. 3	Nilai Rata-rata Parameter <i>Rectilinearity</i>	42
Tabel 4. 4	Nilai Rata-rata Parameter Nilai Eigen Terbesar	44
Tabel 4. 5	Tabel Ringkasan Parameter PCA daerah Manifestasi Air Panas ..	47
Tabel 4. 6	Tabel Ringkasan Parameter PCA daerah non Manifestasi Air Panas	48

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pulau Jawa merupakan wilayah dengan banyak gunung api, baik dalam kondisi mati, dorman maupun masih aktif. Kehadiran gunung api di Pulau Jawa menjadikannya sebagai pusat pengembangan panasbumi di Indonesia. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) telah melakukan estimasi besar total sumber daya panasbumi di Indonesia sebesar 27.000 MW. Namun, baru sekitar 800 MW yang telah dikembangkan pada tujuh lokasi dengan lima diantaranya berada di Pulau Jawa (Setijadji, 2010) .



Gambar 1. 1 Peta Geologi Bojonegoro Wilayah Selatan modifikasi dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (1992)

Gunung Pandan adalah salah satu gunung api yang berada di Kabupaten Bojonegoro, Propinsi Jawa Timur dengan manifestasi panasbumi berupa mata air panas dan kolam lumpur. Daerah ini memiliki dua sumber air panas utama sebagai manifestasi panas bumi yaitu daerah Selo Gajah dan Banyukuning (Maubana dkk., 2019). Gunung Pandan terletak di bagian selatan Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur, Indonesia. Daerah ini memiliki dua sumber air panas utama sebagai manifestasi panas bumi yaitu daerah Selo Gajah dan Banyukuning (Maubana dkk., 2019). Sumber panas (*heat source*) dalam sistem panas bumi Gunung Pandan diperkirakan memiliki keterkaitan dengan tubuh batuan plutonik yang mengalami asosiasi dengan kegiatan magmatisme yang menyebabkan munculnya batuan vulkanik termuda. Reservoir sistem panas bumi di daerah ini diduga berada pada batuan sedimen. Lapisan ini diperkirakan merupakan lapisan reservoir dengan ditandai dengan nilai tahanan jenis > 10 ohm-m hingga sekitar 60 ohm-m dengan temperatur dari fluida reservoir dengan suhu antara 150° C - 165°C. Sistem panas bumi Gunung Pandan

memiliki batuan penudung dalam berupa lapisan lempung yang berasal dari proses alterasi batuan. Lapisan penudung sistem panas bumi ini dikarakterisasi oleh lapisan konduktif dengan nilai tahanan jenis < 10 ohm-m. WKP Panas Bumi Gunung Pandan didominasi oleh mata air hangat dengan pH netral, air bertipe klorida, klorida-bikarbonat, dan bikarbonat (Direktorat Panas Bumi dkk., 2017).

Sistem panasbumi mengekspresikan dirinya melalui fluida pada manifestasi permukaan (Pirajno, 2009). Menurut (Keith Nicholson, 1993) sistem panasbumi melingkupi sumber panas dan fluida yang mengalami perpindahan panas ke arah permukaan. Pada daerah yang terdapat fluida berupa air panas dan yang tidak terdapat fluida memiliki pergerakan partikel yang berbeda. Dengan mengetahui adanya arah pergerakan partikel dapat mengidentifikasi adanya manifestasi panas bumi. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian terkait perbedaan parameter antara daerah yang terdapat fluida dan tidak terdapat fluida. Untuk mengetahui parameter tersebut dapat dengan melakukan metode *Particle Motion Analysis* dari data mikrotremor.

Pada penelitian ini dilakukan metode mikrotremor VHSR (*Vertical to Horizontal Spectral Ratio*). Dari data VHSR tersebut selanjutnya dilakukan *Particle Motion Analysis* menggunakan metode PCA (*Principle Component Analysis*). PCA pertama kali dikenalkan oleh Flinn pada tahun 1965 untuk mengkarakterisasi getaran dari data mikrotremor. Parameter-parameter yang berkaitan dengan PCA meliputi nilai Eigen, vektor Eigen, rectilinearity, dip, magnitude horizontal, dan koefisien korelasi. Dari hasil parameter tersebut dapat dibedakan karakteristik dari daerah yang terdapat manifestasi dan daerah yang tidak terdapat manifestasi.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana perbedaan spektrum VHSR antara daerah manifestasi air panas dan daerah yang tidak terdapat manifestasi?
2. Bagaimana perbedaan parameter polarisasi antara daerah manifestasi air panas dan daerah yang tidak terdapat manifestasi.?
3. Bagaimana arah pergerakan partikel di daerah manifestasi air panas

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan topik permasalahan dalam penelitian pada tugas akhir ini, penulis memberikan batasan masalah yang meliputi :

1. Data yang digunakan merupakan data mikrotremor pada daerah manifestasi air panas di Selo Gajah dan daerah sekitarnya yang tidak terdapat manifestasi dengan total 12 data.
2. Sampling data dilakukan tiap 10 detik

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk

1. Mengetahui perbedaan spektrum VHSR antara daerah manifestasi air panas dan daerah yang tidak terdapat manifestasi.
2. Mengetahui perbedaan parameter polarisasi antara daerah manifestasi air panas dan daerah yang tidak terdapat manifestasi.
3. Mengetahui Arah pergerakan partikel pada daerah manifestasi air panas

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah

1. Memberikan informasi mengenai metode PCA dalam melakukan *Particle Motion Analysis*.
2. Menghasilkan referensi dalam perbedaan parameter polarisasi dan VHSR pada daerah manifestasi air panas dan bukan daerah manifestasi air panas, baik untuk kalangan akademisi, peneliti, dan masyarakat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

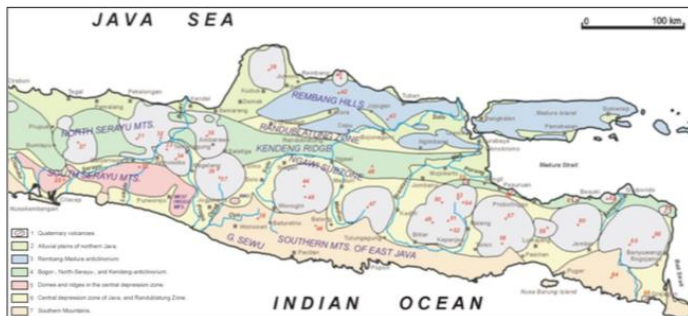
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dasar Teori

2.1.1 Geologi Regional

2.1.1.1 Fisiografi Daerah Penelitian

Wilayah Jawa bagian timur yang meliputi provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur. Wilayah Jawa bagian timur berdasarkan fisiografinya dibagi menjadi 5 zona yaitu Zona Pegunungan Selatan, Zona Solo atau Depresi Solo, Zona Kendeng, Depresi Randublatung, dan Zona Rembang (Van Bemmelen, 1949). Berdasarkan fisiografisnya, daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Kendeng yang meliputi deretan pegunungan yang memiliki arah memanjang timur-barat (T-B) yang berada di sebelah utara dari Subzona Ngawi. Pegunungan ini terbentuk dari proses deformasi dari batuan sedimen laut hingga membentuk suatu antiklinorium (rangkaian perbukitan antiklin kecil yang secara paralel tersusun dan membentuk struktur berupa antiklin yang lebih besar) (Novian dan Husein, 2014). Pegunungan ini memiliki panjang sekitar 250 km dan lebar sekitar maksimum 40 km yang membentang dari Gunung api Ungaran di bagian barat ke arah timur melewati Ngawi sampai Mojokerto (De Genevraye dan Samuel, 1972)



Gambar 2. 1 Zonasi Fisiografis Pulau Jawa (Van Bemmelen, 1949)

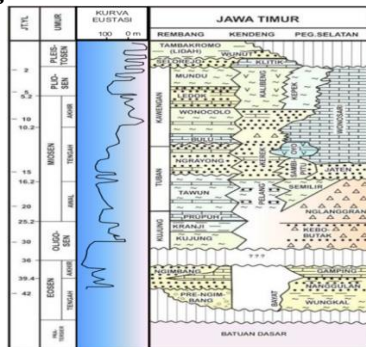
Morfologi Zona Kendeng adalah rangkaian dari perbukitan yang rendah yang memiliki morfologi bergelombang yang memiliki ketinggian dengan kisaran 50 sampai 200 meter. Terdapatnya lipatan dan sesar naik yang mempunyai arah barat-timur direpresentasikan oleh arah dari morfologi perbukitan yang memiliki arah barat-timur. Intensitas dari lipatan dan anjakan yang mengikuti sangat besar di bagian barat namun, di bagian timur intensitasnya berangsur melemah. Batas litologi batuan yang bersebelahan merupakan batas sesar, yang merupakan akibat dari adanya anjakan tersebut. Terbentuknya retakan, sesar dan zona lemah lainnya pada arah tenggara-baratlaut (Tg-BL), baratdaya-timurlaut (BD-TL) dan utara-selatan (U-S) diebakkan oleh gaya kompresi pada pembentukan perlipatan dan anjakan (Novian dan Husein, 2014).

Di Zona Kendeng bagian tengah, tepatnya di bagian di barat laut dari Nganjuk, tubuh dari Gunung api Pandan dengan usia Pleistosen Awal menerobos sabuk antiklinorium Kendeng. Pembelokan yang relative simetris dengan tubuh Gunung Api Pandan mengakibatkan terjadinya pola struktur perlipatan Kendeng di sekitar Gunung api Pandan , hal ini diindikasikan vulkanisme berlangsung bersamaan dengan proses tektonis Kendeng (Pliosen Akhir). Melihat dari jarak relatif terhadap deretan busur gunung api dengan palung subduksi, Gunung api Pandan terletak pada satu deretan dengan Gunung api Ungaran, yaitu berada di posisi vulkanisme near back-arc. Gunung api Ungaran mulai aktif pada Pleistosen Awal dimana terjadinya juga bersamaan dengan Gunung api Pandan (Van Bemmelen, 1949).

Banyak ditemukan teras-teras sungai di Zona Kendeng yang merupakan akibat dari proses tektonik yang terangkat dari zaman Tersier dan masih berjalan (Husein dkk., 2008). Hal ini menandakan adanya perubahan, temporary base level. Bengawan solo merupakan sungai utama yang mengalir melewati Zona Kendeng yang dimana dengan arah aliran barat-timur mengalir Subzona Ngawi dengan dahulu. Bengawan Solo berbelok ke utara saat di kota Ngawi dan memotong sabuk antiklinorium Kendeng selebar 15 km, namun juga tetap arah alirannya dipertahankan. Fenomena ini yang membuat Bengawan Solo termasuk sebagai sungai antededen (Novian dan Husein, 2014).

Proses eksogenik (erosi dan pelapukan) yang terjadi dengan intensif berjalan, hal ini terjadi akibat dari iklim tropis dan litologi penyusun Zona Kendeng yang mayoritas merupakan batulempung-napal-batupasir yang memiliki kompaktitas yang rendah. Proses eksogenik tersebut bisa mengakibatkan topografi structural yang ada terbalik (*inversed topography*), dapat dilihat pada lembah sinklin berubah menjadi bukit sinklin dan, bukit antiklin yang berubah menjadi lembah antiklin. (Novian dan Husein, 2014).

2.1.1.2 Stratigrafi Regional



Gambar 2. 2 Kolom Stratigrafi Komposit Jawa Timur (Prasetyadi, 2007)

Daerah stratigrafi Zona Kendeng terbentuk menjadi 3 bagian, dimana daerah pertama atau daerah paling bawah merupakan daerah endapan laut dalam.

Daerah endapan laut kemudian berubah menjadi endapan laut dangkal sebagai penyusun Zona Kendeng bagian tengah atau daerah 2. Sementara bagian atas dari Zona Kendeng atau daerah 3 tersusun atas endapan-endapan non-laut. Beberapa jenis endapan yang ada di Zona Kendeng terdiri atas endapan turbidit klastik, karbonat, serta vulkaniklastik (Novian dan Husein, 2014). Zona Kendeng tersusun atas beberapa formasi batuan, berikut ini merupakan formasi batuan yang ada di Zona Kendeng dari paling tua hingga paling muda:

1. Formasi Pelang

Formasi Pelang merupakan formasi tertua yang ada di Zona Kendeng. Formasi ini diketahui karena tersingkap di beberapa daerah seperti di Mandala Kendeng, Desa Pelang di bagian Selatan Juwangi. Di daerah yang tersingkap tersebut Formasi Pelang mempunyai ketebalan 85 – 125 meter dengan litologi penyusun utamanya yaitu napal, napal lempungan. Pada Formasi ini ditemukan fosil foraminifera besar yang berada di lensa kalkarenit bioklastik (Novian dan Husein, 2014).

2. Formasi Kerek

Formasi yang kedua yaitu Formasi Kerek dimana formasi ini tersingkap di daerah Desa Kerek berjarak 8 km dari utara Ngawi dan berada di tepi Sungai Bengawan Solo. Pada daerah yang tersingkap formasi ini menunjukkan struktur *graded bedding* dimana struktur tersebut merupakan struktur khas dari struktur sedimen. Litologi penyusun utama dari Formasi Kerek yaitu perulangan perselingan batu lempung, napal, batu pasir tuf gampingan serta batu pasir tufan (Novian dan Husein, 2014). Formasi ini juga mempunyai beberapa anggota litologi antara lain:

a. Anggota Banyuurip

Anggota litologi Banyuurip tersusun atas batuan napal lempungan, lempung dengan batu pasir tuf gampingan serta batu pasir tufaan. Anggota litologi ini mempunyai umur sekitar Miosen tengah (N10-N15), dengan ketebalan lapisan hingga 270 meter. Anggota litologi Banyuurip ini ditandai dengan perlapisan kalkarenit pasiran dengan sisipan tuf halus dengan tebal 5 meter pada bagian atas. Serta adanya sisipan batu pasir gampingan dan tufaan pada bagian tengah dengan tebal 5 meter (Novian dan Husein, 2014).

b. Anggota Sentul

Anggota litologi Sentul mempunyai susunan litologi yang hampir sama dengan Anggota litologi sebelumnya yaitu anggota litologi Banyuurip. Anggota litologi Sentul dibedakan dengan lapisan tuf yang lebih tebal dibanding dengan anggota litologi Banyuurip, serta mempunyai umur batuan sekitar Miosen bawah (N16) (Novian dan Husein, 2014).

c. Anggota Batugamping Kerek

Anggota litologi Batugamping Kerek merupakan anggota litologi paling atas dari Formasi Kerek yang berumur sekitar Miosen Atas (N17). Litologi penyusun utama dari anggota litologi Batugamping Kerek yaitu perselingan batugamping tufaan dengan perlapisan lempung dan tuf (Novian dan Husein, 2014).

3. Formasi Kalibeng

Formasi Kalibeng terdiri dari 2 bagian yaitu Formasi Kalibeng atas dan Formasi Kalibeng bawah.

a. Formasi Kalibeng Bagian Bawah

Formasi Kalibeng bagian bawah diidentifikasi berdasarkan litologi penyusun utamanya yaitu napal tak berlapis yang mempunyai warna putih kekuning-kuningan sampai abu-abu kebiru-biruan, litologi tersebut mempunyai ketebalan lapisan hingga 600 meter. Formasi Kalibeng Bagian Bawah tersebar menjadi 2 bagian anggota litologi, yang pertama yaitu Anggota Litologi Banyak yang berkembang dari perlapisan tipis batu pasir menjadi endapan aliran rombakan yang mempunyai arah menuju Kendeng bagian barat. Anggota yang kedua yaitu Anggota litologi Atas angina yang berkembang menjadi endapan vulkanik laut yang menunjukkan struktur turbidit, dengan arah perkembangannya menuju ke arah timur di sekitar Gunung Pandan (Novian dan Husein, 2014).

b. Formasi Kalibeng Bagian Atas

Formasi Kalibeng Bagian atas mempunyai umur batuan sekitar Pliosen (N19-N21) yang tersusun atas Anggota Litologi Klitik, Formasi ini juga bisa disebut dengan Formasi Sonde. Anggota Litologi Klitik ini tersusun atas satuan litologi Kalkarenit putih kekuning-kuningan pada bagian bawah serta mengandung fosil foraminifera planctonik. Kalkarenit tersebut mempunyai sifat napalan atau pasiran berlapis dengan struktur yang lunak. Selanjutnya diikuti dengan satuan litologi breksi dengan fragmen gamping yang mempunyai ukuran kerikil serta semen karbonat. Diatas satuan litologi breksi tersebut terdapat satuan litologi napal pasiran dimana semakin ke atas napal tersebut berubah sifat menjadi lempungan. Bagian paling atas Anggota litologi Klitik mempunyai satuan litologi berupa lempung yang berwarna hijau kebiru-biruan (Novian dan Husein, 2014).

4. Formasi Pucangan

Formasi ini mempunyai sebaran formasi dengan wilayah yang cukup luas, di daerah Sangiran juga ditemukan adanya 2 fasies yang berkembang dari Formasi Pucangan yaitu fasies vulkanik dan fasies lempung hitam. Fasies vulkanik berkembang diatas Formasi Kalibeng sebagai endapan lahar, sementara fasies lempung hitam berkembang dari fasies laut, air payau, dan air tawar. Pada bagian bawah dari fasies lempung hitam ditemukan penciri endapan laut dangkal yaitu fosil foraminifera bentonik yang ada di sisipan lapisan tipis pada fosil

diatomae, yang selanjutnya semakin ke atas menjadi endapan air tawar yang dicirikan dengan ditemukannya fosil moluska (Novian dan Husein, 2014).

5. Formasi Kabuh

Formasi Kabuh tersusun atas satuan litologi Batu pasir non vulkanik seperti kuarsa, serta mempunyai struktur silang siur dengan sisipan konglomerat. Formasi ini banyak ditemukan di Desa Kabuh, Kecamatan Kabuh, Kabupaten Jombang, dimana pada formasi ini juga ditemukan moluska air tawar serta fosil-fosil hewan vertebrata. Selain itu Formasi ini juga tersingkap di kubah Sangiran yaitu di daerah Kendeng Barat yang mempunyai satuan litologi berupa batu pasir silang siur dengan sisipan konglomerat dan tuf serta mempunyai tebal lapisan 100 meter. Litologi ini terendapkan pada daera fluvial atau endapan danau dengan struktur silang siur, serta ditemukan moluska air tawar seperti yang ditemukan di daerah Trinil (Novian dan Husein, 2014).

6. Formasi Notopuro

Formasi Notopuro banyak ditemukan di Desa Notopuro, Timur Laut Saradan, Kabupaten Madiun. Formasi ini mempunyai ciri endapan lahar di daratan, yang terendapkan diatas Formasi Kabuh secara selaras. Formasi ini banyak tersebar disepanjang Penggunungan Kendeng dengan ketebalan hingga lebih dari 240 meter. Formasi Notopuro mempunyai satuan litologi berupa batuan tuf yang berselingan dengan batu pasir tufaan, breksi lahar, serta konglomerat vulkanik. Adapun ciri dari Formasi Notopuro yaitu sisipan ataupun lensa-lensa breksi vulkanik yang mempunyai fragmen kerakal andesit dan batu apung. Semakin keatas litologi pada formasi ini semakin banyak sisipan batu pasir tufaan (Novian dan Husein, 2014).

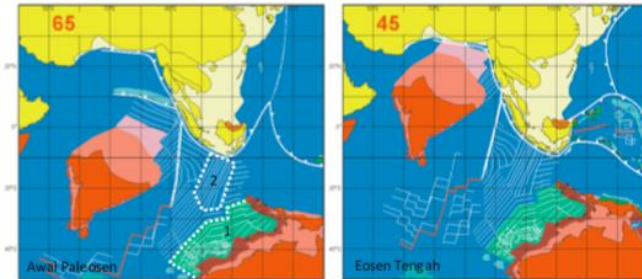
7. Endapan Undak Bengawan Solo

Endapan Undak Bengawan Solo mempunyai satuan litologi berupa konglomerat polimik yang mempunyai fragmen napal dan andesit. Selain itu terdapat endapan-endapan batu pasir yang banyak mengandung fosil-fosil hewan vertebrata. Endapan Undak Bengawan Solo tersingkap baik di daerah Brangkal dan Sangiran, pada singkapan tersebut terdapat satuan litologi konglomerat dan batu pasir andesit yang sudah terkompakkan diatas bidang erosi Formasi Kabuh dan Formasi Notopuro (Novian dan Husein, 2014).

2.1.1.3 Sejarah Geologi Daerah Penelitian

Pada masa awal Yura Atas atau Oxfordian (sekitar 160 juta tahun lalu), lempeng-lempeng mikro paparan sunda (*Sundaland*) terpisah dari benua Godwana. Selanjutnya lempeng-lempeng tersebut terus bergerak hingga bergabung dan bertumbukan dengan lempeng inti dari Sundaland, hal ini terjadi pada masa akhir Kapur Bawah hingga pada masa awal Kapur Atas yang menyebabkan pulau Jawa menjadi daerah tepian benua atau *passive margin*. Posisi lempeng ini tetap bertahan dan tidak berubah hingga masa Awal Eosen,

selain itu sedimentasi tidak terjadi secara signifikan pada masa ini diakibatkan karena tingginya muka air laut global (Novian dan Husein, 2014).

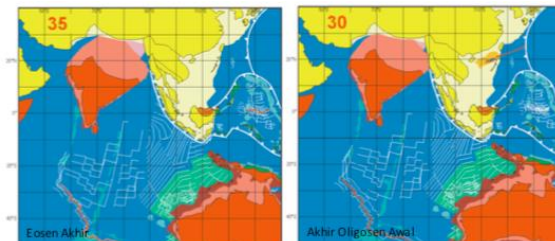


Gambar 2. 3 Tatanan Lempeng Tektonik Awal Tersier (Paleosen) [kiri] dan saat Eosen Tengah [kanan] (Hall, 2012) yang diambil dari (Novian dan Husein, 2014)

Pada gambar 2.3 terlihat pergerakan lempeng tektonik pada masa Paleosen hingga Eosen Tengah. Di gambar 2.3 bagian kiri, pada Label [1] merupakan lempeng kerak samudera yang mempunyai umur Yura Atas (Oxfordian) hingga Kapur Bawah (Albian). Sementara pada Label [2] terlihat lempeng kerak samudera berumur Kapur Bawah hingga Kapur Atas (Turonian), kedua kerak tersebut bergerak menuju inti dari Sundaland. Pada Gambar 2.3 bagian kanan terlihat adanya proses pemekaran yang terjadi di Samudera Hindia, yang mengakibatkan terbentuknya subduksi Palung Sunda. Selanjutnya terbentuk cekungan sedimen tersier di Sundaland, akibat adanya gaya kontraksi akibat subduksi Palung Sunda. Karena terjadinya surutnya tinggi air laut secara global, mengakibatkan terjadinya proses sedimentasi syn-rift di cekungan-cekungan sedimen yang terbentuk termasuk di daerah Jawa timur. Bukti adanya proses pengendapan syn-rift ini yaitu terbentuknya formasi wungkal-Gamping serta Formasi Nanggulan di daerah pegunungan selatan. Sementara di utara Jawa Timur terbentuk Formasi pra-Ngimbang dan Formasi Ngimbang. Selain itu formasi tersebut juga membuktikan adanya perubahan muka air laut dengan terlihatnya ketidakselarasan pada masa akhir Eosen Tengah (Novian dan Husein, 2014).

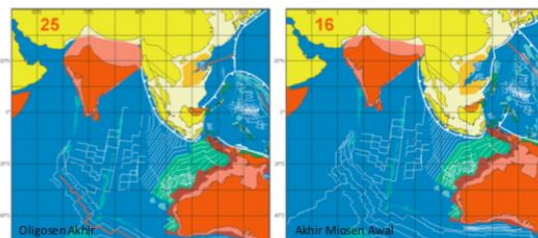
Sedimentasi syn-rift ini terjadi hingga pada masa akhir Eosen Atas, Sedimentasi syn-rift berhenti dikarenakan adanya transgresi secara global. Selain itu Benua India mulai berumbukan dengan Benua Asia seperti yang terlihat pada gambar 2.4, yang juga ditandai dengan berakhirnya proses pemekaran di daerah Selat Makassar. Akibat adanya Subduksi di daerah Palung Sunda yang terjadi mulai masa Eosen Tengah, mulai terbentuknya busur gunung api (*volcanic arc*) yang berada di daerah pegunungan selatan pada masa akhir Oligosen Bawah. Hal ini dibuktikan dengan penanda stratigrafi pada formasi Kebo-Butak, selain itu busur gunung api tersebut mengakibatkan terbentuknya zona cekungan belakang

busur (*back-arc basin*) yaitu Zona Kendeng. Tetapi dikarenakan tidak ditemukan adanya litologi berumur Oligosen atas sehingga masih sulit untuk menginterpretasi tersebut. Pada daerah utara Jawa Timur Formasi Kujung mulai terendapkan bersamaan dengan surutnya muka air laut (Novian dan Husein, 2014).



Gambar 2. 4 Tatanan Lempeng Tektonik di Eosen Akhir [kiri] dan saat Oligosen Awal [kanan] (Hall, 2012) yang diambil dari (Novian dan Husein, 2014).

Sundaland mulai berotasi dengan arah berlawanan jarum jam (*anti-clockwise rotation*) akibat dari bertemunya benua Australia dengan Sundaland pada masa Oligosen akhir. Hal ini mengakibatkan aktifnya patahan-patahan pada basemen (*basement faults*) yang sebelumnya berupa sesar normal menjadi sesar geser. Rotasi pada masa Oligo-Miosen ini bisa terlihat dengan baik pada Zona Rembang dimana sedimentasi batu gamping Prupuh yang ada di lingkungan terumbu terdapat di atas batuan basemen yang naik (*basement horst*). Selain itu akibat adanya rotasi ini bisa terlihat di daerah Pegunungan Selatan, dimana karakteristik pada Formasi Nglanggran yang bersifat lebih basaltic dibandingkan dengan Formasi Semilir yang juga terendapkan pada umur yang sama. Lalu munculnya kompleks Batuan Basemen (*basement core complex*) Bayat akibat peluncuran gaya berat (*gravitational gliding*) yang dipicu oleh penurunan tektonik di Zona Kendeng sebagai akibat adanya Rotasi Oligo-Miosen ini (Husein, 2013).

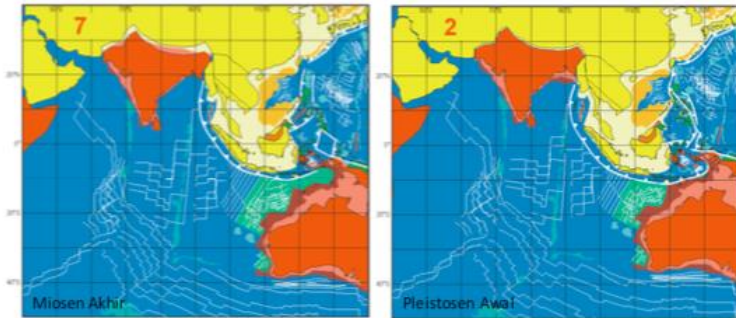


Gambar 2. 5 Tatanan Lempeng Tektonik di Oligosen Akhir [kiri] dan akhir Miosen Bawah [kanan] (Hall, 2012) yang diambil dari (Novian dan Husein, 2014)

Lempeng Samudera yang berumur Albian-Turonian hilang masuk kedalam Palung Sunda pada masa Miosen awal yang terlihat di Gambar 2.5 bagian kanan. Lalu segmen lempeng baru mulai tertarik masuk kedalam Palung Sunda dengan sudut penunjaman yang lebih landau. Selanjutnya lempeng Sundaland terangkat secara merata akibat dari kerak samudera berumur Oxfordian-Albian yang mempunyai ujung yang lebih pendek dari kerak samudera berumur Albian-Turonian tertarik masuk kedalam Palung Sunda. Peristiwa tersebut menandai berakhirnya periode vulkanisme Pegunungan Selatan, hal ini ditandai dengan terjadinya beberap peristiwa di beberapa zona. Seperti di Zona Pegunungan Selatan terjadi sedimentasi batu pasir kuarsa pada Formasi Jaten. Pada Zona Rembang terjadi ketidakselarasan akibat tektonik yang memicu sedimentasi batu pasir kuarsa secara masif dan luas pada Formasi Ngrayong yang biasa disebut dengan Tuban Event. Pada Zona Kendeng ditandai dengan adanya sedimentasi pada Formasi Kerek yang lebih dangkal dibandingkan dengan Formasi Pelang (Novian dan Husein, 2014).

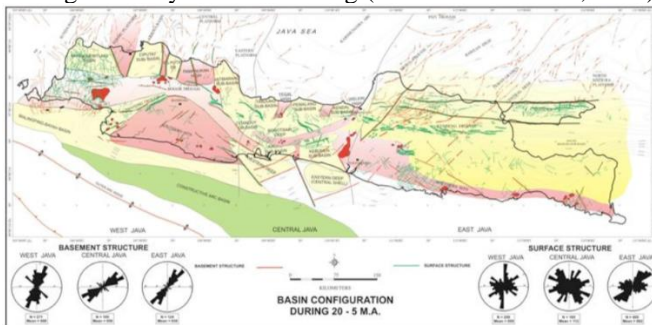
Lempeng Samudera Oxfordian-Albian masuk kedalam Palung Sunda dengan rata pada masa pertengahan Miosen akhir seperti yang terlihat pada gambar 2.6. Dikarenakan lempeng Samudera Oxfordian-Albian yang lebih tua dibandingkan dengan Lempeng Samudera sebelumnya, sehingga lempeng samudera Oxfordian-Albian menjadi lebih berat. Hal ini mengakibatkan kembali aktifnya penurunan cekungan belakang busur (*Back-Arc Basin Subsidence*) Zona Kendeng, yang ditunjukkan dengan adanya sedimentasi pada Formasi Kalibeng yang terendapkan di lingkungan yang lebih dalam dibandingkan dengan Formasi Kerek. Sebagai efek dari kesetimbangan isostatis akibat penurunan Zona Kendeng muncul Patahan Bongkah (*Block Faulting*) di daerah Pegunungan Selatan serta Zona Rembang. Di daerah Pegunungan Selatan hal tersebut memicu turunnya batuan basemen (*basement grabens*) yang mengontrol sedimentasi dari Formasi Kepek. Di Zona Rembang terjadi peristiwa Rembang Event, dimana penurunan bongkah batuan basemen mengontrol pengendapan sekuen Ledok-Mundu-Selorejo yang secara bersamaan juga terjadi kenaikan air laut pada masa Pliosen (Novian dan Husein, 2014).

Lempeng tektonik Timor mulai bertemu dengan Busur Vulkanik Sunda pada masa Pleistosen awal seperti yang terlihat pada gambar 2.6. Hal ini mengakibatkan pengangkatan secara regional di Pulau Jawa, dimana pada Pegunungan Selatan terjadi pengangkatan yang intensif terlihat dari tingginya tingkat denudasioanal pada batuan gunung api Oligo-Miosennya. Akibatnya terbentuk Zona Depresi Solo sebagai efek isostatis yang ditimbulkan. Lempeng tektonik Timor mulai bertemu dengan Busur Vulkanik Sunda pada masa Pleistosen awal seperti yang terlihat pada gambar 2.6. Hal ini mengakibatkan pengangkatan secara regional di Pulau Jawa, dimana pada Pegunungan Selatan terjadi pengangkatan yang intensif terlihat dari tingginya tingkat denudasioanal pada batuan gunung api Oligo-Miosennya. Akibatnya terbentuk Zona Depresi Solo sebagai efek isostatis yang ditimbulkan. Selain itu akibat adanya perbedaan



Gambar 2. 6 Tata Lempeng Tektonik di Miosen Akhir [kiri], dan akhir Pleistosen [kanan] (Hall, 2012) yang diambil dari (Novian dan Husein, 2014) sudut kemiringan penunjaman terjadi aktivasi tektonisme sesar geser (*wrench tectonic*) pada Zona Rembang. Dari aktivasi sesar geser tersebut muncul Antiklinorium Rembang yang dikontrol oleh batuan basemen. Karena bagian barat zona Kendeng serta Zona Rembang yang mengalami pengangkatan maka sebagai akibat dari kesetimbangan isostatis sehingga terbentuk Zona Depresi Randublatung (Novian dan Husein, 2014).

Busur Gunung api baru muncul di sebelah utara busur gunung api Oligo-Miosen yang berada pada Zona Solo. Periode Vulkanisme baru ini diakibatkan karena lempeng samudera Oxfordian–Albian telah mengalami pelelehan sebagian (*partial melting window*) Akibat beban yang bertambah karena adanya gunung api Kuartar Awal maka hal itu memperkuat penurunan Zona Depresi Solo. Selain itu juga muncul gunung api pada masa Pleistosen Awal yang berada di Zona Kendeng atau bagian dari cekungan belakang busur (*back-arc basins*) yaitu Gunung Ungaran dan Gunung Pandan yang juga terjadi bersamaan dengan naiknya Zona Kendeng (Novian dan Husein, 2014).



Gambar 2. 7 Pola Struktur Pulau Jawa selama Miosen Awal hingga Miosen Akhir (Sribudiyani dkk., 2003) yang diambil dari (Novian dan Husein, 2014)

Peristiwa-peristiwa tektonik diatas bisa terlihat dari pola struktur yang ada di Jawa Timur baik dilihat dari permukaan maupun dilihat dari batuan dasarnya.

2.1.1.4 Sistem Geologi Objek Penelitian

Gunung Pandan terletak di bagian selatan Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur, Indonesia. Daerah ini memiliki dua sumber air panas utama sebagai manifestasi panas bumi yaitu daerah Selo Gajah dan Banyukuning (Maubana dkk., 2019). Sumber panas (*heat source*) dalam sistem panas bumi Gunung Pandan diperkirakan memiliki keterkaitan dengan tubuh batuan plutonik yang mengalami asosiasi dengan kegiatan magmatisme yang menyebabkan munculnya batuan vulkanik termuda. Reservoir sistem panas bumi di daerah ini diduga berada pada batuan sedimen. Lapisan ini perkiraan merupakan lapisan reservoir dengan ditandai dengan nilai tahanan jenis > 10 ohm-m hingga sekitar 60 ohm-m dengan temperatur dari fluida reservoir dengan suhu antara 150°C - 165°C . Sistem panas bumi Gunung Pandan memiliki batuan penudung dalam berupa lapisan lempung yang berasal dari proses alterasi batuan. Lapisan penudung sistem panas bumi ini dikarakterisasi oleh lapisan konduktif dengan nilai tahanan jenis < 10 ohm-m. WKP Panas Bumi Gunung Pandan didominasi oleh mata air hangat dengan pH netral, air bertipe klorida, klorida-bikarbonat, dan bikarbonat (Direktorat Panas Bumi dkk., 2017).

Hasil dari analisis yang dilakukan oleh Ditjen EBTKE dan badan Geologi ,secara geologi, geokimia, dan geofisika, menunjukkan bahwa sistem panas bumi di daerah Gunung Pandan merupakan sistem panas bumi flat terrain, dengan reservoir yang di dominasi air panas dengan kedalaman dan ketebalan dari reservoir yang bervariasi dan dikontrol oleh struktur geologi serta berasosiasi dengan sumber panas yang berupa intrusi batuan beku.

2.1.2 Mikrotremor

Mikrotremor adalah metode geofisika yang memanfaatkan getaran dari aktivitas manusia dan fenomena alam (variasi tekanan atmosfer, angin, aliran air, dan gelombang laut) yang berguna untuk identifikasi bawah permukaan. Pengukuran mikrotremor pada dasarnya sama seperti seismik, informasi berupa sumber gelombang, atenuasi gelombang, serta kondisi dari titik pengukuran didapatkan dari sinyal. Untuk melakukan *monitoring unconventional reservoir* seperti *shale gas*, mikrotremor berperan penting untuk melakukan karakteristik retakan dan untuk mengetahui potensi produksi sumur kedepannya (Zheng dkk., 2016).

Mikrotremor dapat juga didefinisikan sebagai getaran harmonik alami dari tanah yang terjebak di lapisan sedimen permukaan dan terjadi terus menerus, terpantul sebab terdapatnya bidang batas lapisan yang memiliki frekuensi yang tetap, diakibatkan oleh getaran mikro yang berada di bawah permukaan tanah dan aktivitas alam lainnya. Dalam kajian teknik kegempaan, resiko yang lebih tinggi bila tergoncang oleh gelombang gempa bumi ada pada litologi yang lebih

lunak dikarenakan adanya amplifikasi gelombang yang lebih besar daripada batuan yang lebih kompak (Kiyoshi, 1983)

Terdaoat dua cara untuk melakukan survet mikrotremor yaitu pendekatan pertama adalah pada dua atau lebih lokasi dilakukan perekaman secara simultan. Tempat perekaman harus dilakukan salah satunya di daerah dengan batuan yang keras (*hard rock*) supaya tidak terjadi penguatan frekuensi yang diakibatkan gerakan tanah. Rasio spektrum yang didapatkan pada pada *hard rock* dibandingkan dengan rasio spektrum di tempat lain untuk mendapatkan respon site terhadap mikrotremor. Pendekatan kedua dipopulerkan oleh Nakamura pada tahun 1989 beriringan dengan metode analisisnya. Ditemukan bahwasanya rasio dari spektrum horizontal dan vertikal dari mikrotremor mengalami peningkatan pada frekuensi resonansi dan akan memberika informasi berupa puncak pada frekuensi tersebut. Nakamura berasumsi bahwasanya H/V merefleksikan tingkat amplifikasi dari aktivitas tanah. Dengan metode ini pengukuran tidak perlu dilakukan dengan syarat adanya batuan keras (*hard rock*).

Pemanfaatan observasi mikrotremor berguna untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan factor amplifikasi dan parameter periode dominan. Observasi mikrotremor juga berguna untuk pemantauan aktivitas gunung api, mendukung eksplorasi geothermal, mikrozonasi, penelitian geofisika lingkungan, serta aplikasi geoteknik (Nurhanafi dkk., 2016). Secara teoritis nilai frekuensi atau periode getaran tanah adalah gambaran kondisi fisik dari tanah. Tanah atau batuan lunak akan mempunyai periode getaran yang panjang dan begitu juga sebaliknya (Nurhanafi dkk., 2016).

2.1.3. Vertical to Horizontal Spectral Ratio (VHSR)

Vertical to Horizontal Spectral Ratio (VHSR) merupakan fungsi dengan periode pendek yang menunjukkan rasio lebih tinggi daripada periode panjang, konsisten dengan perbedaan yang diamati dalam bentuk spektral antara komponen gerakan tanah vertikal dan horizontal. Perbedaan-perbedaan ini menyebabkan V / H memiliki maksimum pada periode 0,05-0,1 detik dan minimum pada periode 0,4-0,8 detik. Pada periode yang lebih lama, V / H perlahan meningkat seiring periode. Para peneliti ini juga menemukan bahwa V / H kurang tergantung pada besarnya, jarak, dan kondisi lokasi lokal daripada komponen horizontal atau vertical (Bozorgnia dan Campbell, 2004).

Rasio spektral V / H memiliki peran penting dalam rekayasa gempa. Rasio V / H umumnya digunakan bersama dengan probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) untuk mengembangkan spektrum desain vertikal dengan menggunakannya untuk skala spektrum desain horisontal dari parameter seismologis skenario gempa bumi). Harus dicatat bahwa banyak komponen dan sistem struktural umumnya kaku pada arah vertikal dan periode alami vertikal mereka umumnya pendek. Oleh karena itu, dari sudut pandang teknik, perhatian

khusus harus diberikan pada karakteristik periode pendek dari spektrum respons vertikal dan V / H (Bozorgnia dkk., 2016).

2.1.4. Particle Motion Analysis

Metode *Particle Motion* adalah salah satu dari metode yang berguna untuk mengetahui arah pergerakan dari sumber getaran. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan arah pergerakan tersebut adalah *Principal Component Analysis* (PCA). Dengan menggunakan persamaan matriks kovarian PCA dapat mengkarakterisasi pergerakan tanah secara tiga dimensi. Tiga komponen dari data microtremor adalah utara, timur, dan vertikal. Dari ketiga komponen tersebut dioperasikan sedemikian rupa untuk menjadi nilai autocovariance dan cross-covariance sesuai dengan persamaan (M. A. Lambert dkk., 2009)

$$C_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N u_i(s)u_j(s) \quad (2.1)$$

Dimana N adalah jumlah dari *sampling* data sedangkan u_i dan u_j adalah data yang didapatkan dalam interval waktu tertentu dimana i dan j merupakan komponen dari mikrotremor yang sesuai berdasar sumbu nya masing-masing, yaitu sumbu x,y,z (autocovariance: $i=j$; crosscovariance: $i \neq j$). Setelah didapatkan nilai dari masing-masing komponen, matriks kovarian dibuat menjadi seperti berikut:

$$C = \begin{pmatrix} C_{xx} & C_{xy} & C_{xz} \\ C_{yx} & C_{yy} & C_{yz} \\ C_{zx} & C_{zy} & C_{zz} \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

Matriks kovarian tersebut merepresentasikan korelasi dari satu komponen data microtremor dengan komponen lainnya. Bila nilai kovariannya rendah merepresentasikan bahwa korelasi tiap sumbu kurang baik. Berbanding terbalik jika nilai kovariannya tinggi maka antar komponen memiliki korelasi.

Selanjutnya, untuk mendeskripsikan besar dari sumber energi dan arah dari pergerakan partikel diperlukan perhitungan nilai Eigen dan vector Eigen dari matriks kovarian. Nilai Eigen ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$) dan nilai vector eigen (p_1, p_2, p_3) didapatkan dari:

$$(C - \lambda I) p = 0 \quad (2.3)$$

Agar solusi vector Eigen p pada persamaan (2.3) tidak sama dengan nol, maka determinan dari $(C - \lambda I)$ harus sama dengan nol.

Tiga nilai dari Eigen ($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3$) merupakan gambaran dari energi pada suatu *event* seismic dalam tiga komponen arah (Nguyen dkk., 2001). Nilai Eigen berguna untuk mengestimasi nilai dari *rectilinearity* (L), dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$L = 1 - \left(\frac{\lambda_2 + \lambda_3}{2\lambda_1} \right) \quad (2.4)$$

Dimana nilai rentang *rectilinearity* berada di antar $0 \leq L \leq 1$ (Jurkevics, 1988).

Orientasi dari getaran pada *event* seismic dinyatakan oleh nilai vector Eigen terbesar $p_1 = (p_1(x), p_1(y), p_1(z))$. Untuk mengetahui arah dari getaran dilakukan perhitungan nilai sudut dip (ϕ) dan sudut azimuth (θ). Sudut dip menggambarkan sudut deviasi terhadap sumbu vertikal, sedangkan sudut azimuth menggambarkan orientasi terhadap bidang horizontal (E. R. Kanasewich, 1981). Jika $\phi = 0^\circ$ maka menggambarkan adanya gerakan partikel ke arah vertical. Jika $\theta = 0^\circ$ menggambarkan adanya gerakan partikel pada arah utara-selatan. Untuk perhitungan sudut dip dan sudut azimuth didapatkan dari persamaan sebagai berikut:

$$\phi = \arccos(|p_1(z)|) \quad (2.5)$$

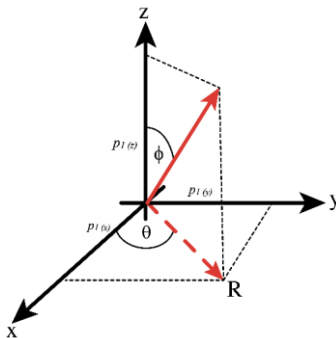
$$\theta = \arctan\left(\frac{p_1(y)}{p_1(x)}\right) \quad (2.6)$$

Sudut dip dan sudut azimuth mendeskripsikan arah dari pergerakan partikel. Dengan didaptkannya parameter nilai Eigen (λ), sudut dip (ϕ), dan sudut azimuth (θ) maka besar dari arah getaran dapat teridentifikasi.

Kemudian koefisien korelasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Nguyen dkk., 2001)

$$\rho_{xy}^2 = \frac{[c_{xy}]^2}{c_{xx} \cdot c_{yy}} \quad (2.7)$$

Korelasi dari sumbu x dan y ditunjukkan oleh persamaan (2.7), dimana nilai tersebut memiliki batas nilai $-1 \leq \rho_{xy} \leq 1$. Jika nilai $\rho_{xy} = -1$ menunjukkan bahwa korelasi kedua variabel negatif. Jika nilai $\rho_{xy} = 1$ menunjukkan bahwa korelasi kedua variabel positif. Sedangkan jika nilai $\rho_{xy} = 0$ maka menunjukkan bahwa tidak adanya korelasi dua variabel (Jenkins dan Watts, 1968).



Gambar 2. 8 Ilustrasi hubungan dari beberapa atribut PCA

2.2 Penelitian Terdahulu

No	Nama, Tahun	Lokasi	Penerapan	Hasil signifikan dan kesimpulan
1	(Lestari, 2018)	Jalan raya Trenggalek-Ponorogo KM 23	<i>Particle Motion Analysis</i> metode PCA untuk menentukan potensi longsor	Dari penelitian didapatkan 5 lokasi teridentifikasi potensi longsor berdasarkan parameter yang didapatkan dari Particle Motion Analysis metode PCA
2	(Bozorgnia dan Campbell, 2004)	USA	Pengembangan <i>Vertical Design Spectral</i> menggunakan VHSR	Tidak ditemukan bias dalam estimasi V / H dari analisis independen spektrum respons vertikal dan horizontal. Didapatkan V / H sebagai fungsi kuat periode alami, kondisi situs lokal, dan jarak sumber ke situs sedangkan fungsi ini lemah untuk magnitude, mekanisme patahan, dan ketebalan sedimen
3	(Bommer dkk., 2011)	Kawasan Eropa dan Timur Tengah	Penggunaan model VHSR untuk <i>probabilistic seismic hazard analysis</i>	Model baru untuk prediksi rasio V / H untuk akselerasi puncak tanah dan akselerasi spektral dari 0,02 ke 3,0 d dikembangkan dari basis data akselerogram gerak kuat dari Eropa dan Timur Tengah. Bentuk fungsional sederhana, yang menyatakan rasio V / H sebagai fungsi magnitude, gaya patahan, jarak, dan kelas situs, ditemukan sesuai, dan variabilitas obrolan yang terkait ditemukan paling tidak yang diperoleh pada

				penelitian lain menggunakan model yang lebih kompleks. Rasio prediksi dari model Eropa baru ditemukan dalam perjanjian luas dengan model baru-baru ini berasal dari data Amerika Utara yang didominasi Barat.
4	(Warnana, 2012)		Dekomposisi mode empiris untuk memperoleh atribut spektral dan atribut polarisasi	Mendapati bahwa daerah penelitian terdapat reservoir hidrokarbon berdasarkan atribut spektral dan polarisasi
5	(Steiner dkk., 2008)		<i>Time reverse Modelling</i> dari mikrotremor frekuensi rendah untuk lokalisasi reservoir hidrokarbon	<i>Time reverse modeling</i> menunjukkan bahwa sinyal mikrotremor frekuensi rendah berasal dari lokasi reservoir dan dapat <i>Time reverse modeling</i> merupakan metode yang dapat digunakan untuk lokalisasi reservoir.
6	(Maubana dkk., 2019)	Gunung Pandan, Bojonegoro, Jawa Timur	Analisis Geokimia pada manifestasi air panas	Hasil analisis geokimia menunjukkan bahwa jenis cairan di Jari (Selo Gajah) dan Banyukuning adalah air klorida dan bikarbonat. Sementara itu, berdasarkan perhitungan geotermometer Na-K-Ca, sistem panas bumi gunung Pandan memiliki suhu reservoir 130°C dan diklasifikasikan

				ke dalam sistem entalpi menengah.
7	(Chen dkk., 2017)	Jepang	Mengetahui perbedaan komponen Aplikasi rekaman gerakan tanah dari jaringan K-NET dan sistem pengukuran gempa dasar laut (SEMS) untuk mendapatkan perbedaan komponen vertikal antara gerakan darat dan lepas pantai	Hasilnya menunjukkan bahwa komponen vertikal gerakan lepas pantai lebih rendah daripada gerakan darat. Rasio V / H PGA dari sejarah waktu akselerasi di stasiun lepas pantai adalah sekitar 50% dari rasio di stasiun darat. V / H untuk gerakan tanah lepas pantai lebih rendah daripada gerakan darat, terutama untuk periode kurang dari 0,8 detik. Selanjutnya, berdasarkan hasil dalam analisis statistik untuk rekaman lepas pantai di K-NET, persamaan desain V / H yang disederhanakan untuk gerakan lepas pantai pada gempa bumi kecil dan sedang direkomendasikan untuk analisis seismik struktur lepas pantai.
8	(Prabowo dkk., 2017)	Desa Ngargosari, Samigaluh Kulonprogo, D.I. Yogyakarta	Identifikasi potensi gerakan tanah pada lerang yang dipicu gempabumi menggunakan <i>particle motion analysis</i> dan nilai <i>ground shear</i>	Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa mikrotremor merupakan metode yang efektif dalam identifikasi potensi pergerakan tanah yang dipicu gempabumi berdasarkan nilai <i>ground shear strain</i> dan analisis pergerakan partikel. Daerah penelitian mayoritas memiliki nilai $\gamma = 1000 \times 10^{-6}$ rawan mengalami deformasi dan potensi pergerakan tanah pada arah

				timur laut-barat daya jika mengalami gempa bumi.
9	(Kurniawati dkk., 2017)	Cangar, Jawa Timur	Analisis pergerakan partikel untuk menentukan pusat aktivitas hidrotermal	Penentuan episenter dan hiposenter menurut arah pergerakan dari partikel menggunakan metode satu stasiun, yaitu stasiun perekaman CGR01 dan CGR02 yang masing-masing dipilih 5 event. Hasil dari analisis pergerakan partikel diperoleh 5 episenter gempa mikro berdasarkan pertemuan arah pergerakan partikel dua titik stasiun perekaman. Sebaran episenter berada di 5 titik, yaitu (112°32'2,04" BT; 7°44'32,208" LS), (112°32'2,04" BT; 7°44'32,1" LS), (112°32'0,96" BT; 7°44'31,49" LS), (112°32'3,57" BT; 7°44'32,58" LS), dan (112°32'3,44" BT; 7°44'32,67" LS). Sedangkan kedalaman sumber gempa berada pada 17 hingga 60 meter di bawah permukaan bumi. Titik episenter dan hiposenter berkaitan dengan adanya aktivitas hidrotermal di bawah permukaan bumi.
10	(Nguyen dkk., 2001)	Carrot Creek, Alberta	Filter polarisasi untuk data seismik	Polarisasi dicirikan oleh parameter yang menentukan lintasan gerak partikel suatu media.

			multi-komponen	<p>Lintasan gerak partikel dalam banyak kasus diwakili oleh kurva tiga dimensi yang kompleks. Komponen pelacakan setiap gelombang ditemukan dengan menggabungkan diskriminasi gelombang, berdasarkan arah propagasi, dengan yang sesuai dengan jenis polarisasi mereka. Komponen optimal akan sesuai dengan vektor osilasi. Penyaringan polarisasi gelombang berdasarkan kombinasi karakteristik gerakan partikel pada suatu titik, dengan arah rambatnya di sebuah medium, memungkinkan untuk memisahkan gelombang reguler dengan polarisasi berbeda yang merambat ke berbagai arah dan dengan kecepatan yang berbeda.</p>
11	(Jurkevics, 1988)	Norwegia	Penerapan analisis polarisasi pada data tiga komponen	<p>Hasil penting dari analisis data adalah polarisasi P yang didefinisikan dengan baik, dan gelombang Sn di seluruh pita periode pendek, estimasi azimuth sumber yang diperoleh dari gerakan P, dan Lg, dan polarisasi berbeda untuk gelombang S, dan Lg yang memungkinkan semua ini fase dibedakan dalam banyak kasus.</p>

12	(M. Lambert dkk., 2009)	Cekungan Burgos, Mexico		<p>Di daerah hidrokarbon terbukti, anomali energi dalam rentang frekuensi sekitar 1-6 Hz. Untuk mengkarakterisasi anomali ini secara lebih rinci, dengan mengekstraksi beberapa atribut terkait reservoir: PSD-IZ, sinyal V / H, polarisasi, dan frekuensi puncak maksimum. Atribut-atribut ini menunjukkan nilai anomali di atas akumulasi gas yang diketahui. Lalu diaplikasikan di area survei yang tidak dieksploitasi untuk memperkirakan potensi hidrokarbon. Di tengah anomali yang terdeteksi di wilayah ini, setidaknya dua sumur yang mengindikasikan hidrokarbon dibor setelah data dicatat dan dianalisis. Ini mendukung teori bahwa anomali frekuensi rendah terkait dengan keberadaan reservoir hidrokarbon dan dapat digunakan sebagai informasi pelengkap metode pencitraan struktural untuk mengurangi risiko pengeboran dan membantu penentuan posisi sumur.</p>
13	(Maulidiya dan Rusli, 2017)	Jembatan Soekarno Hatta, Kota Malang	Analisa HVSR dan Analisa <i>particle motion</i> untuk penentuan	Berdasarkan analisa data yang dilakukan disimpulkan bahwa nilai frekuensi dominan/frekuensi natural (f0) dari jembatan yaitu

			frekuensi fatural Dan arah pergerakan gelombang	antara 0,62 sampai 4,34 Hz yang menandai bahwa jembatan sudah tidak layak dipergunakan sebagai sarana transportasi. Analisa particle motion secara kuantitatif menunjukkan arah pergerakan gelombang ke segala arah baik secara vertikal ataupun secara NS-EW
14	(Nur Fadhli dan Kin Gumandar, 2018)	Kalasan, Jawa Tengah	Frekuensi alami, <i>displacement</i> , dan <i>particle motion analysis</i> untuk evaluasi kekuatan jembatan	Kami memperoleh rata-rata frekuensi alami jembatan adalah 2,81 Hz, <i>displacement</i> jembatan adalah 0,025 mm, dan gerakan partikel didominasi oleh arah E-W. Akibatnya, jembatan Tulung dinyatakan memenuhi standar nilai lendutan tetapi tidak memenuhi standar untuk nilai frekuensi alami, sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) sehingga hal ini perlu ditindak lanjuti.
15	(Kyaw dkk., 2013)	Jogjakarta	Aplikasi data microtremor untuk pergerakan tanah	Dalam penelitian ini, pengamatan mikrotremor tunggal dipelajari di 274 stasiun. Baik faktor amplifikasi tinggi dan frekuensi alami rendah berdasarkan spektrum H / V tercermin pada area sedimen yang lebih tebal di mana gerakan tanah dapat diharapkan di area ini pada gempa bumi yang akan datang. Demikian pula, gerakan seismik dapat dipengaruhi oleh kecepatan

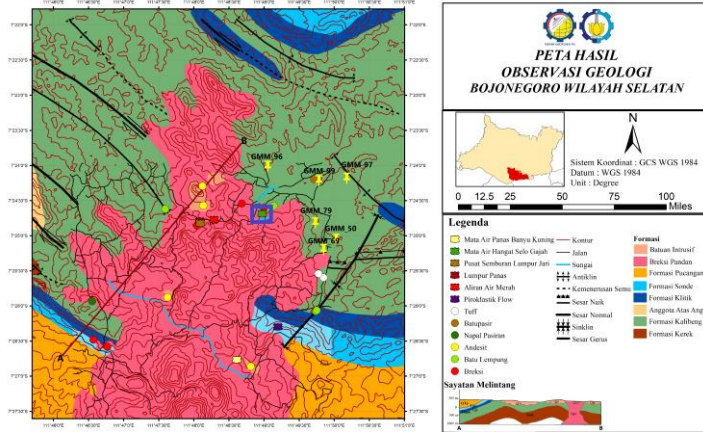
				<p>gelombang geser di SPT dari lokasi pengeboran yang ada pada kondisi tanah lunak terutama dalam studi wilayah perkotaan. Mengenai jumlah cerita dan pentingnya bangunan, mereka harus dibangun di bidang faktor amplifikasi rendah, frekuensi alami yang tinggi dan kecepatan gelombang S yang tinggi. Akhirnya, tempat-tempat yang terletak di area terbaik berkaitan dengan teknik geologi dan kegempaan harus dipilih untuk bangunan seperti itu.</p>
--	--	--	--	--

Halaman ini sengaja dikosongkan

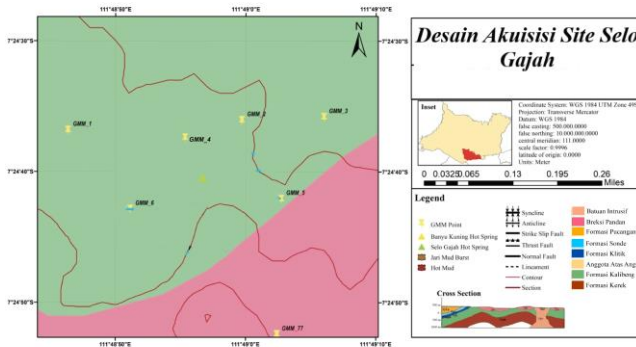
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Data

Pada penelitian ini untuk lokasi berada di daerah Bojonegoro Selatan dimana lebih tepatnya 6 titik data berada di mata air panas Selo Gajah dan 6 titik berada di sekitar Selo Gajah yang tidak terdapat manifestasi air panas ditunjukkan pada gambar (3.1) dan gambar (3.2).



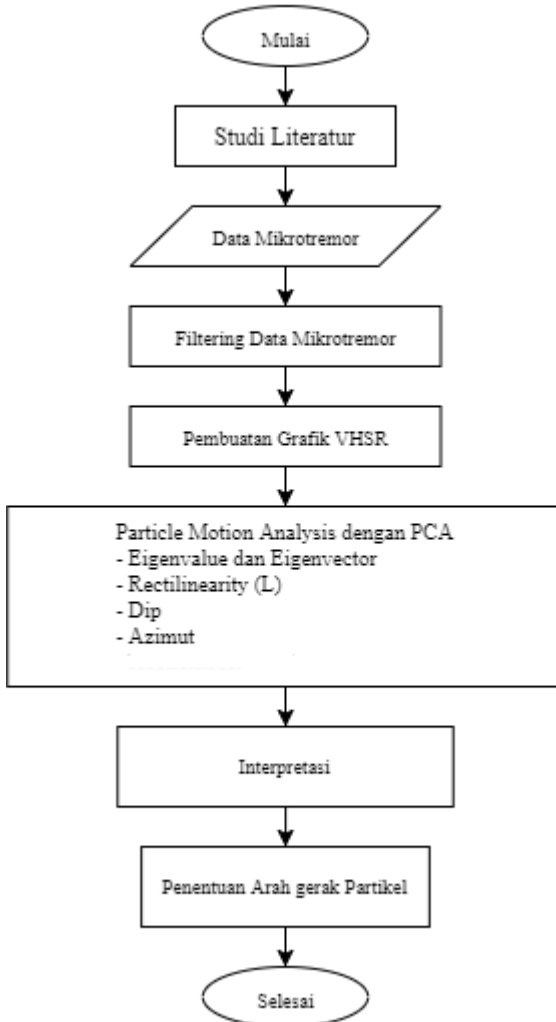
Gambar 3. 1 Titik Pengukuran untuk daerah sekitar Selo Gajah (Daerah tidak terdapat manifestasi)



Gambar 3. 2 Titik Pengukuran daerah Selo Gajah (Daerah manifestasi)

3.2. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahap sebelum mendapatkan hasil akhir berupa Grafik VHSR dan arah pergerakan partikel. Diagram alir penelitian ini ditampilkan pada gambar (3.3)



Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian

3.2. Piranti Lunak

Penelitian ini membutuhkan piranti lunak dalam menunjang pengolahan data. Piranti lunak yang digunakan dijelaskan pada tabel (3.1)

Tabel 3. 1 Piranti Lunak yang digunakan dalam Penelitian

No.	Piranti Lunak (<i>Software</i>)	Keterangan
1.	Microsoft Office 2016	Program pengolah kata dan manajemen data numerik
2.	<i>Geopsy</i>	Program pengolah data microtremor (filtering)
3.	MATLAB	Program pengolah pergerakan partikel dan VHSR
4.	Google Earth	Program pembuatan peta pergerakan partikel

3.3 Langkah Kerja

3.3.1 Input Data

Data untuk daerah manifestasi air panas berada dilokasi GMM 1- GMM 6, sedangkan daerah non manifestasi air panas berada dilokasi GMM 50, GMM 69, GMM 79, GMM 96, GMM 97, GMM 99. Data mikrotremor yang digunakan dalam format .seg2 dengan lama waktu perekaman 30 menit dan 15 menit untuk data GMM50, GMM69, dan GMM 79.

3.3.2 Filtering data

Untuk menghilangkan atau mereduksi noise yang terkandung pada data mikrotremor, digunakan *filter*. Pada penelitian ini, digunakan software *geopsy* untuk melakukan filter. Filter yang digunakan *band-pass filter* dengan rentang frekuensinya diantara 0,5-10 Hz karena mengacu pada penelitian (Saenger dkk., 2009) dibutuhkan frekuensi rendah.

3.3.3 Grafik VHSR

Membuat grafik VHSR dilakukan dengan menggunakan MATLAB. Grafik ini didapatkan dari tiga komponen dari data mikrotremor yaitu utara, timur, dan vertical yang telah difilter.

3.3.4 Particle Motion Analysis dengan PCA

Particle Motion Analysis dilakukan untuk mengetahui arah dan bentuk Gerakan di bawah tanah menggunakan MATLAB. Untuk mendapatkan arah dan bentuk Gerakan di bawah tanah, digunakan metode PCA (*Principal Component Analysis*). Dengan menggunakan PCA didapatkan nilai dari parameter polarisasi

yang didapatkan dari persamaan (2.3),(2.4),(2.5),dan, (2.6). Dari parameter yang didapatkan setelah melakukan PCA, dilakukan penentuan arah gerak partikel pada daerah penelitian dengan menandai arah tiap titik.

```

1 % detrend
2 x=detrendma(ux,10);
3 y=detrendma(uy,10);
4 z=detrendma(uz,10)
5
6 % Filtering
7 %FFT hasil Filtering
8 X=fftpro(x,T);Y=fftpro(y,T);Z=fftpro(z,T);
9
10 % penggabungan Sumbu horisontal
11 H=sqrt((X.^2+Y.^2)/2);
12 HV=Z./H;
13 plot(f,HV)
14 title 'Grafik VHSR'
15 xlabel 'frequency(Hz)'
16 ylabel 'H/V'
17 hold on
  
```

Gambar 3. 4 Contoh Pengolahan VHSR

```

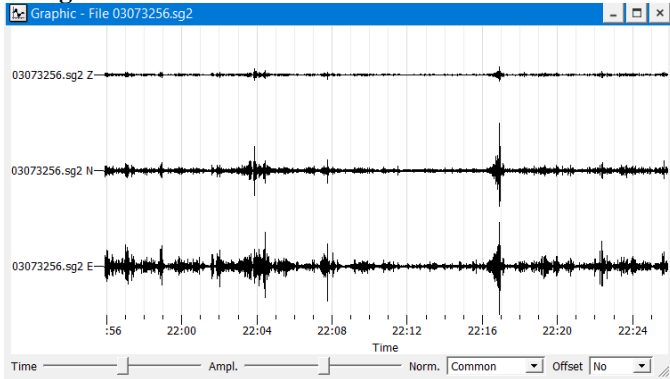
66 - Cxx=1/N*(ux*ux');
67 - Cxy=1/N*(ux*uy');Cyx=Cxy;
68 - Cxz=1/N*(ux*uz');Czx=Cxz;
69 - Cyy=1/N*(uy*uy');
70 - Cyz=1/N*(uy*uz');Czy=Cyz;
71 - Czz=1/N*(uz*uz');
72 - C=[Cxx Cxy Cxz;Cyx Cyy Cyz;Czx Czy Czz]; % matrik Covarian
73 - [P,D]=eig(C);% P vektor Eigen, D nilai eigen
74 - [n,lamda]=sort(diag(D));% mengurutkan nilai Eigen
75 - Lamb=lamda(1); % dipilih pada lamda terbesar
76 - L=1-(lamda(2)+lamda(3))/(2*lamda(1));% rectilinearity
77 - P = real(P);
78 - P1=(P(:,lamda(1)));
79 - xp=P1(1);
80 - yp=P1(2);
81 - zp=P1(3);
82 - Ph=sqrt(xp^2+yp^2); % Vektor eigen Horisontal
83 - Dip=acos(abs(zp)) *180/pi;
84 - Azimut=atan(yp/xp) *180/pi;
  
```

Gambar 3. 5 Contoh Pengolahan PCA

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

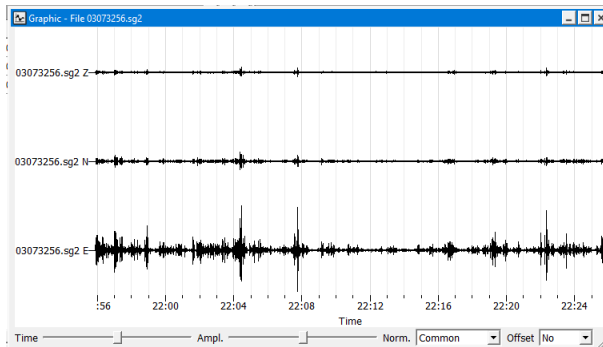
4.1 Hasil

4.1.1 Filtering Data



Gambar 4. 1 Sinyal mikrotremor yang terekam pada GMM 2

Data yang didapatkan dari pengukuran mikrotremor dapat dilihat pada Gambar 4.1. Data yang dihasilkan berupa getaran alami dari bawah permukaan dalam komponen EW (arah x), komponen NS (arah y), dan Z (arah z). Data mikrotremor kemudian di *filter* sehingga didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.

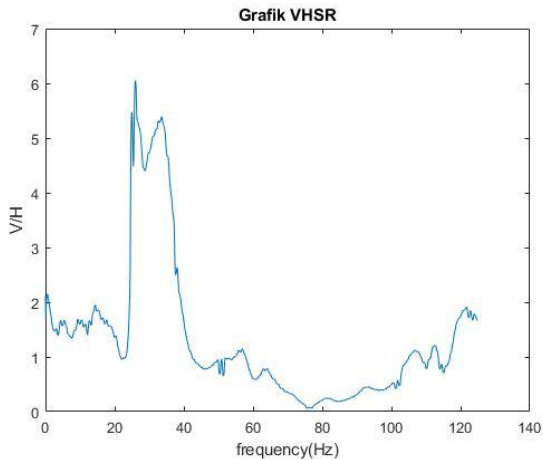


Gambar 4. 2 Sinyal mikrotremor pada titik GMM 2 setelah di *filter*

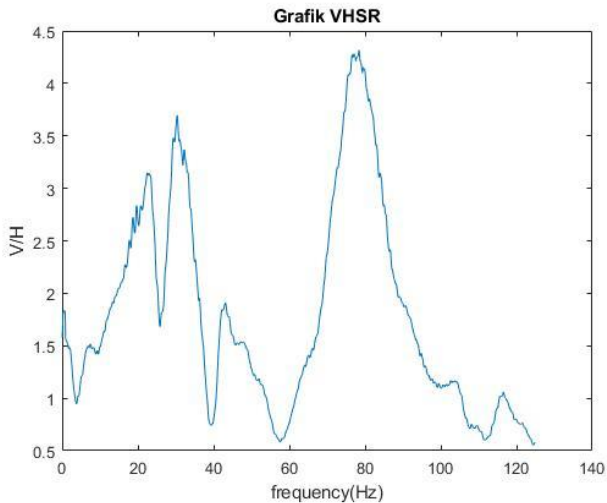
4.1.2 Kurva VHSR

Setelah dilakukannya proses filtering dengan menggunakan Geopsy data mikrotremor dengan format .txt diolah untuk mendapatkan grafik VHSR.

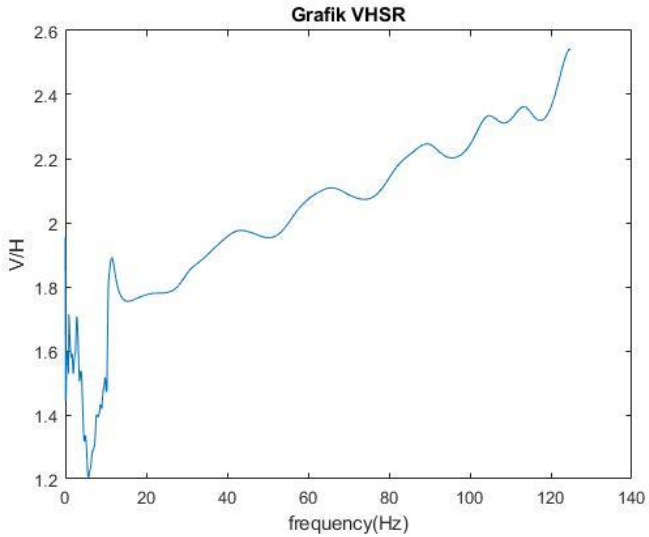
Kurva VHSR diolah menggunakan matlab. Berikut adalah hasil pengolahan untuk di daerah manifestasi air panas dan daerah non manifestasi air panas.



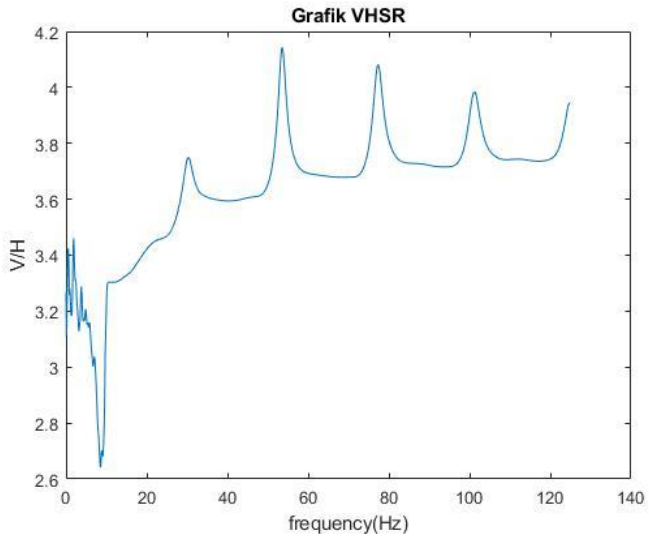
Gambar 4. 3 Grafik VHSR GMM 50 (Daerah tidak terdapat manifestasi)



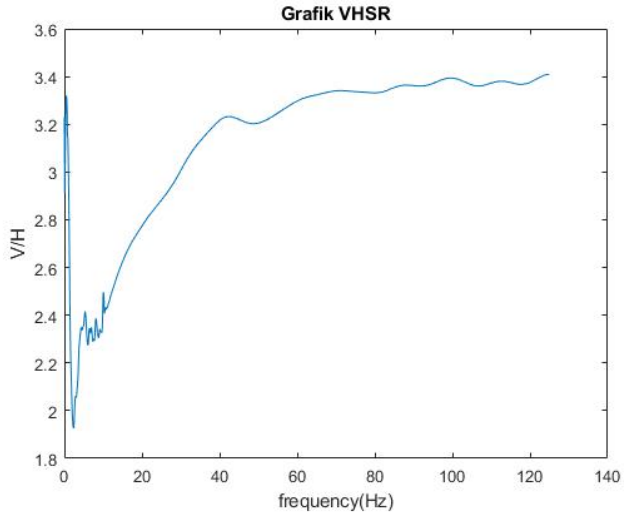
Gambar 4. 4 Grafik VHSR GMM 69 (Daerah tidak terdapat manifestasi)



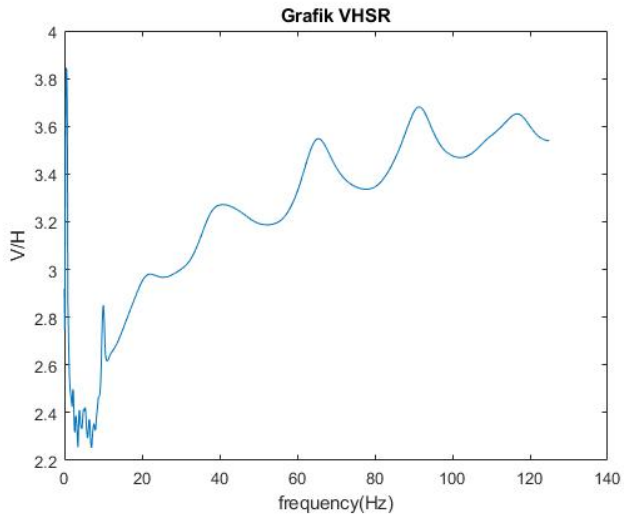
Gambar 4. 5 Grafik VHSR GMM 79 (Daerah tidak terdapat manifestasi)



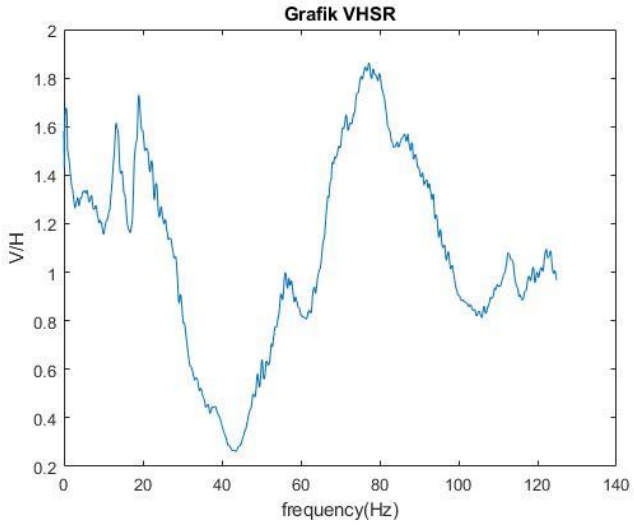
Gambar 4. 6 Grafik VHSR GMM 96 (Daerah tidak terdapat manifestasi)



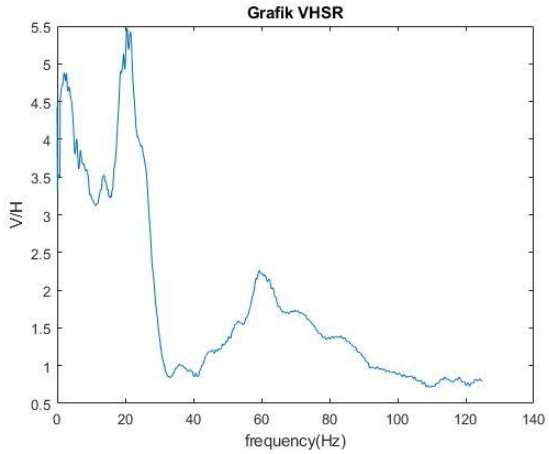
Gambar 4. 7 Grafik VHSR GMM 97 (Daerah tidak terdapat manifestasi)



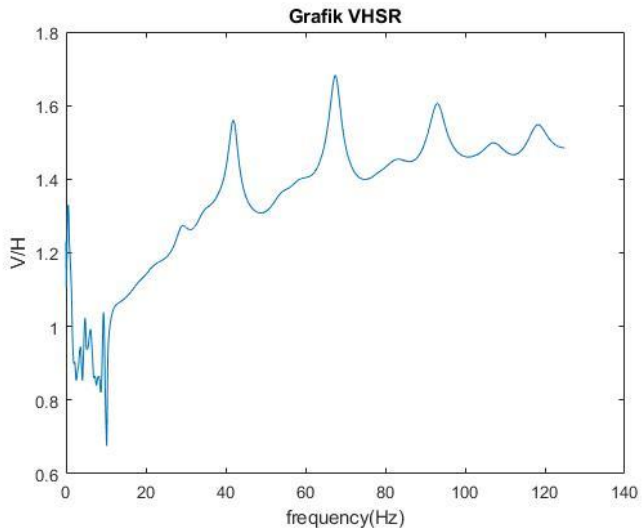
Gambar 4. 8 Grafik VHSR GMM 99 (Daerah tidak terdapat manifestasi)



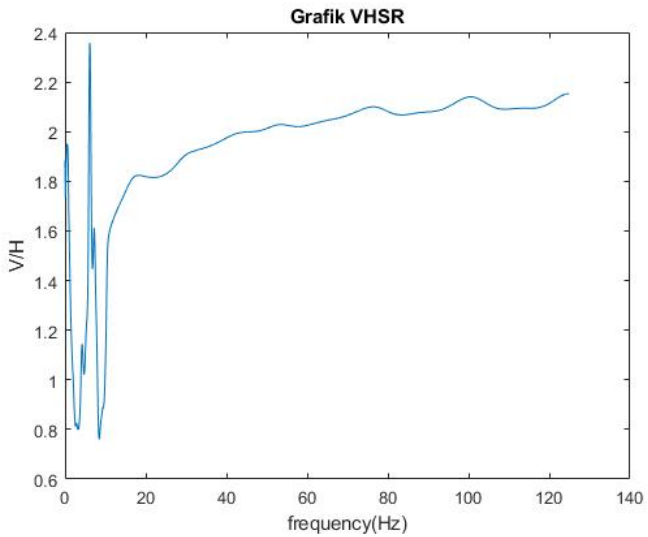
Gambar 4. 9 Grafik VHSR GMM 1 (Daerah manifestasi)



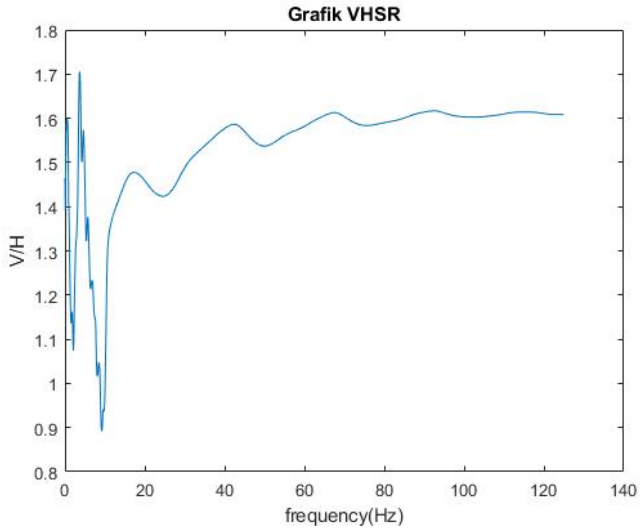
Gambar 4. 10 Grafik VHSR GMM 2 (Daerah manifestasi)



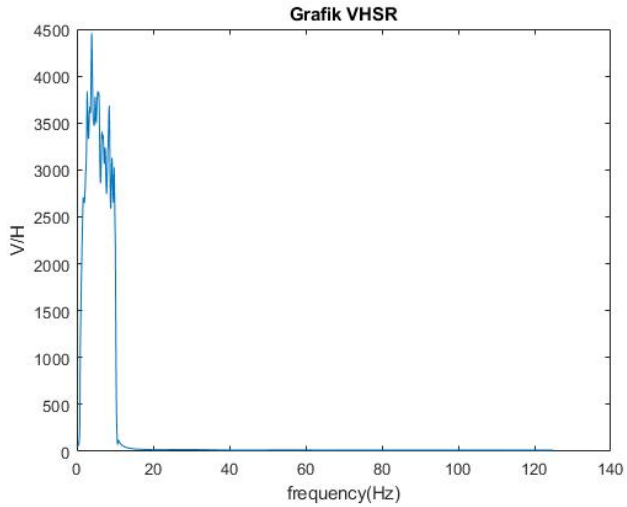
Gambar 4. 11 Grafik VHSR GMM 3 (Daerah manifestasi)



Gambar 4. 12 Grafik VHSR GMM 4 (Daerah manifestasi)



Gambar 4. 13 Grafik VHSR GMM 5 (Daerah manifestasi)



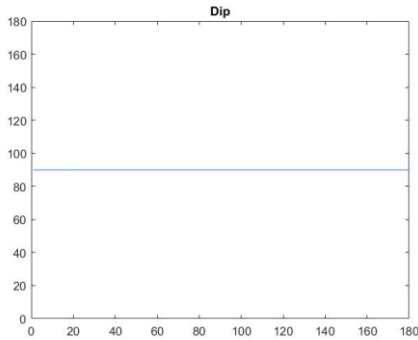
Gambar 4. 14 Grafik VHSR GMM 6 (Daerah manifestasi)

4.1.3 Particle Motion Analysis (PCA)

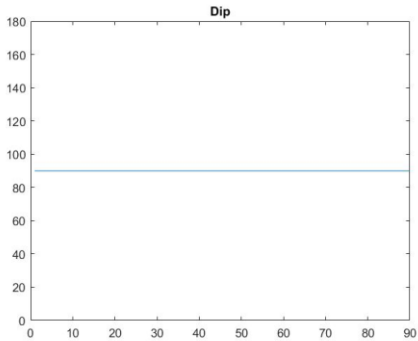
Hasil dari proses pengolahan PCA dilakukan menggunakan *software* MATLAB, didapatkan parameter polarisasi yang dibutuhkan untuk analisa *particle motion*. Parameter tersebut adalah sudut dip, sudut azimuth, rectilinearity, dan nilai eigen terbesar. Berikut hasil parameter polarisasi dari pengolahan PCA.

4.1.3.1 Dip

. Berikut merupakan contoh grafik dari nilai dari parameter dip yang didapatkan di daerah manifestasi air panas dan di daerah non manifestasi air panas dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16.



Gambar 4. 15 Parameter dip GMM 1 (Daerah manifestasi)



Gambar 4. 16 Parameter dip GMM 50 (Daerah tidak terdapat manifestasi)

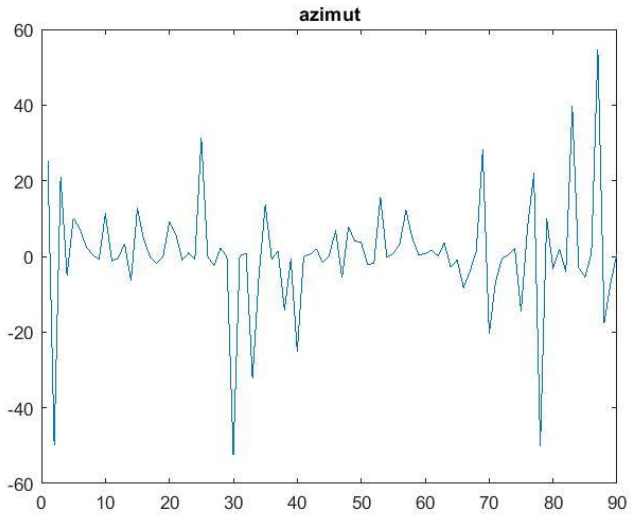
Setelah didapatkan nilai dip lalu dihitung rata-rata nilai dip dan hasilnya sebagai dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Nila rata-rata parameter dip

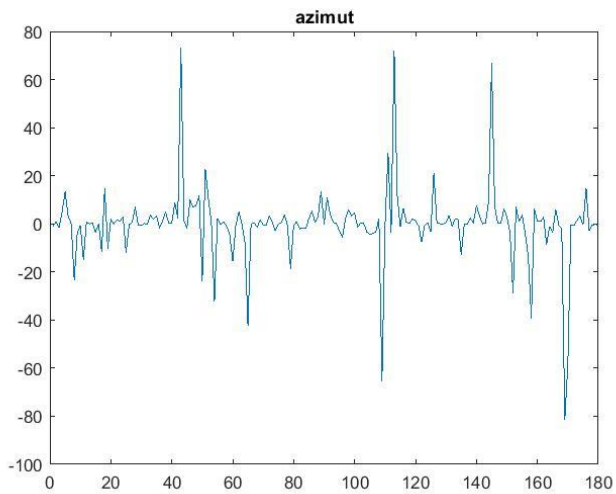
Titik Pengukuran	Nilai dip(°)
GMM 1	89.99
GMM 2	89.99812099
GMM 3	89.99927753
GMM 4	89.99888288
GMM 5	89.99793206
GMM 6	89.99997801
GMM 50	89.99764992
GMM 69	89.99853448
GMM 79	89.99853448
GMM 96	89.9988222
GMM 97	89.99822111
GMM 99	89.99794161

4.1.3.2 Azimut

Dari hasil pengolahan maka didapatkan grafik dari nilai azimut di tiap titik penelitian. Contoh grafik azimut dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18. Setelah didapatkan nilai azimut lalu dihitung rata-rata nilai azimut dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.2.



Gambar 4. 17 Parameter Azimut GMM 79 (Daerah tidak terdapat manifestasi)

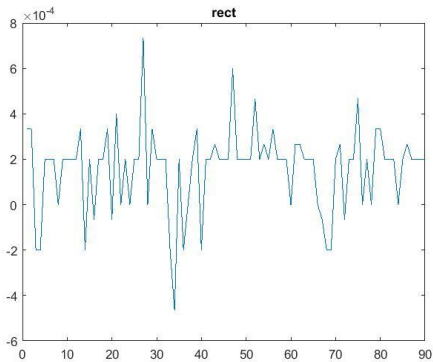


Gambar 4. 18 Parameter Azimut GMM 4 (Daerah manifestasi)

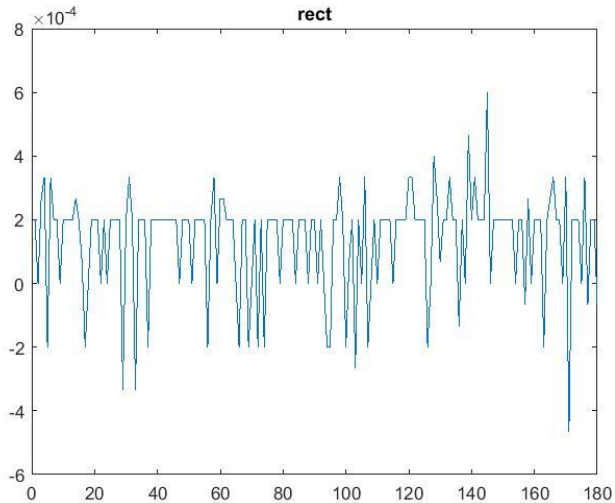
Tabel 4. 2 Nilai Rata-rata Parameter Azimut

Titik Pengukuran	Nilai azimut(°)
GMM 1	1.47
GMM 2	-1.28
GMM 3	1.63
GMM 4	-0.051
GMM 5	-0.80
GMM 6	0.00044
GMM 50	1.85
GMM 69	0.45
GMM 79	0.48
GMM 96	0.21
GMM 97	0.56
GMM 99	1.01

4.1.3.3 Rectilinearity



Gambar 4. 19 Parameter rectilinearity GMM 79 (Daerah tidak terdapat manifestasi)



Gambar 4. 20 Parameter rectilinearity GMM 4 (Daerah manifestasi)

Dari hasil pengolahan maka didapatkan grafik dari nilai *rectilinearity* di tiap titik penelitian. Contoh grafik dari hasil *rectilinearity* dapat dilihat pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 . Setelah didapatkan nilai *rectilinearity* lalu dihitung rata-rata nilai *rectilinearity* dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.3.

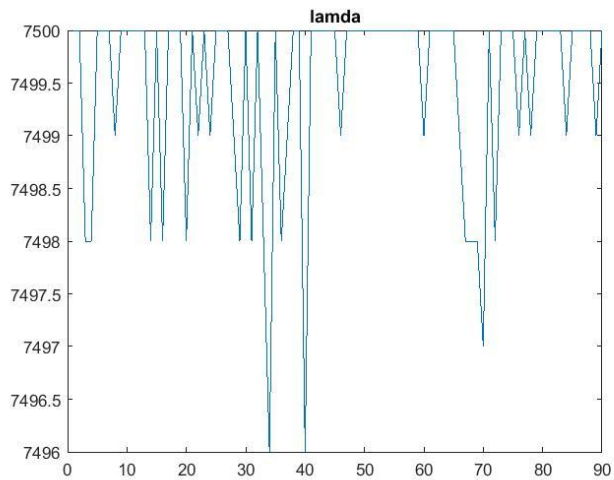
Tabel 4. 3 Nilai Rata-rata Parameter *Rectilinearity*

Titik Pengukuran	Nilai Rectilinearity
GMM 1	0.000257951
GMM 2	0.000272129
GMM 3	0.000204306
GMM 4	0.000181553
GMM 5	0.000181899
GMM 6	0.000187434
GMM 50	0.000317252
GMM 69	0.000256732
GMM 79	0.000216454

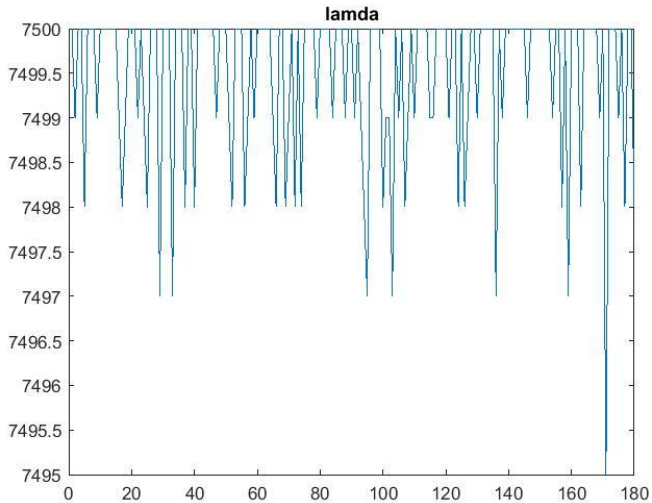
GMM 96	0.00018432
GMM 97	0.000188463
GMM 99	0.00017917

4.1.3.4 Nilai Eigen Terbesar

Dari hasil pengolahan maka didapatkan grafik dari nilai eigen terbesar di tiap titik penelitian. Contoh garfik yang dihasilkan dari nilai eigen terbesar dapat dilihat pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22. Setelah didapatkan nilai eigen terbesar lalu dihitung rata-rata nilai eigen terbesar. Hasil dari rata-rata nilai eigen terbesar dapat dilihat pada tabel 4.4



Gambar 4. 21 Parameter Nilai Eigen Terbesar GMM 79 (Daerah tidak terdapat manifestasi)



Gambar 4. 22 Parameter Nilai Eigen Terbesar GMM 4 (Daerah manifestasi)

Tabel 4. 4 Nilai Rata-rata Parameter Nilai Eigen Terbesar

Titik Pengukuran	Nilai Eigen Terbesar
GMM 1	5166.366667
GMM 2	5707.9
GMM 3	7499.361111
GMM 4	7499.472222
GMM 5	7499.327778
GMM 6	7494.888889
GMM 50	5416.422222
GMM 69	7494.988887
GMM 79	7499.455556
GMM 96	7499.227778
GMM 97	7499.427778

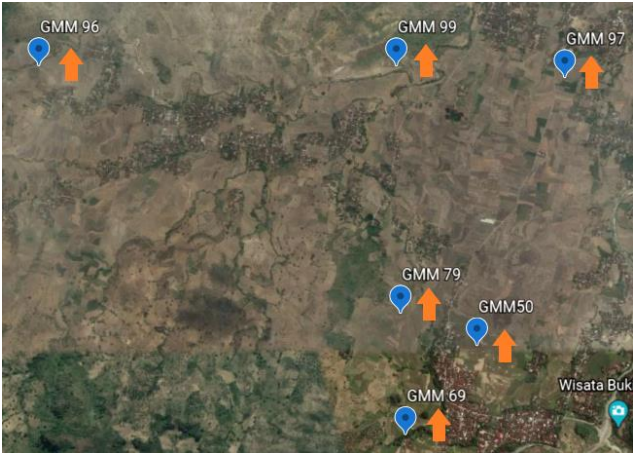
GMM 99	7499.4167
--------	-----------

4.1.3.5 Arah Gerak Partikel

Untuk penentuan arah gerak partikel parameter PCA yang digunakan adalah Dip dan Azimut. Hasil yang didapat dari arah gerakan partikel untuk daerah manifestasi air panas dan daerah non manifestasi air panas dapat dilihat pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24. Arah gerak partikel dari daerah manifestasi dan non manifestasi memiliki arah yang sama yaitu menuju utara.



Gambar 4. 23 Arah Gerak Partikel Daerah Manifestasi



Gambar 4. 24 Arah Gerak Partikel Daerah Tidak Terdapat Manifestasi

4.2 Pembahasan

Dari hasil yang telah didapatkan dilakukan perbandingan antara hasil dari lokasi manifestasi air panas dan lokasi non manifestasi air panas. Berdasarkan dari kurva VHSR yang telah didapatkan tidak ditemukannya pola yang menunjukkan perbedaan antara kurva untuk titik manifestasi air panas daengan kurva untuk titik non manifestasi air panas. Kurva VHSR pada daerah yang memiliki manifestasi seharusnya memiliki perbedaan dengan kurva VHSR pada daerah yang tidak terdapat manifestasi. Perbedaan pada kurva VHSR sudah dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh (Dangel dkk., 2003) dan (Saenger dkk., 2009) menunjukkan bahwa adanya perbedaan VHSR untuk di daerah manifestasi yang berupa hidrokarbon dan daerah yang tak terdapat manifestasi hidrokarbon.

Pada penelitian yang dilakukan Saenger pada tahun 2009 kurva VHSR pada daerah manifestasi hidrokarbon memiliki nilai yang tinggi di frekuensi antara 1,5 Hz-3,7 Hz, dimana nilai V/H yang didapatkan diatas 1. Untuk kurva VHSR di daerah yang tidak terdapat manifestasi hidrokarbon memiliki nilai V/H yang stabil berada dibawah nilai 1. Hal ini menunjukkan bahwa pergerakan fluida yang ada dibawah permukaan menyebabkan adanya pergerakan ke arah vertikal, sehingga dengan VHSR dapat membedakan daerah yang terdapat manifestasi dan tidak terdapat manifestasi (Saenger dkk., 2009).

Hasil dari PCA berupa 4 parameter yang digunakan untuk menganalisis pergerakan partikel yaitu nilai dip, azimuth, *rectilinearity* dan nilei eigen terbesar. Nilai dip yang didapatkan untuk daerah manifestasi air panas dan daerah non manifestasi air panas tidak diapatkan perbedaan. Nilai dip pada kedua daerah relatif sama yaitu sebesar 89,9°. Nilai dip yang dihasilkan menunjukkan kedua arah dari daerah yang diteliti didapatkan adanya osilasi partikel dengan arah vertikal.

Hasil dari nilai azimuth manunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan antar daerah manifestasi air panas dengan daerah non manifestasi air panas. Nilai azimuth yang didapatkan cenderung memiliki nilai yang tidak stabil. Hasil rata rata nilai azimuth dari kedua daerah memiliki nilai yang mendekati 0° dimana ini menggambarkan bahwa osilasi dari partikelnya memiliki arah utara seperti yang terdapat pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24.

Hasil dari nilai eigen terbesar yang didapat tidak menunjukkan adanya perbedaan antara daerah manifestasi air panas dan daerah non manifestasi air panas. Nilai eigen terbesar yang didapatkan memiliki nilai yang tinggi. Hasil ini menggambarkan terdapatnya energi getaran seismic yang cukup besar di daerah penelitian.

Nilai *rectilinearity* setelah disbandingkan antara daerah manifestasi air panas dan daerah non manifestasi air panas tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Diapatkan untuk rata rata nilai *rectilinearity* memiliki nilai yang relatif stabil. Nilai yang dihasilkan parameter *rectilinearity* sangat kecil yaitu mendekati nilai nol.

Parameter PCA yang seharusnya dapat menunjukkan perbedaan antara daerah manifestasi air panas dan daerah yang tidak terdapat manifestasi air panas. Perbedaan parameter PCA dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan (Saenger dkk., 2009) menunjukkan untuk nilai dip pada daerah manifestasi hidrokarbon memiliki nilai yang stabil dan relatif tinggi yaitu mendekati sudut $\approx 90^\circ$, sedangkan pada daerah yang tidak terdapat manifestasi hidrokarbon memiliki nilai yang stabil dan rendah yaitu $\approx 10^\circ$. Nilai azimut pada daerah manifestasi hidrokarbon tidak stabil yang diakibatkan oleh nilai dip yang tinggi, sedangkan pada daerah yang tidak terdapat manifestasi hidrokarbon memiliki nilai yang lebih stabil.

Nilai *rectilinearity* yang didapatkan pada daerah manifestasi hidrokarbon memiliki nilai yang bervariasi namun nilainya relatif tinggi, sedangkan pada daerah yang tidak terdapat manifestasi hidrokarbon memiliki nilai yang relatif rendah dengan variasi yang lebih sedikit. Nilai eigen terbesar yang didapatkan pada daerah manifestasi hidrokarbon memiliki nilai relatif tinggi dan relatif stabil, sedangkan pada daerah yang tidak terdapat manifestasi hidrokarbon memiliki nilai yang relatif rendah.

Dari hasil tersebut menunjukkan analisis parameter polarisasi PCA ini berguna untuk analisis terperinci dari medan gelombang seismik pasif. Parameter polarisasi PCA memberikan informasi tentang variabilitas waktu dari fenomena mikrotremor terkait dengan adanya pergerakan fluida. Berdasarkan hasil diatas VHSR dan parameter polarisasi PCA dapat digunakan sebagai metode untuk mendeteksi adanya manifestasi yang terdapat dibawah permukaan.

Tidak terdapatnya perbedaan yang signifikan dari kurva VHSR pada daerah manifestasi dan daerah tidak terdapat manifestasi, begitu juga dengan hasil dari parameter PCA yang tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Durasi dari perekaman data mikrotremor yang kurang lama karena bila mengacu pada penelitian (Saenger dkk., 2009) perekaman data dilakukan selama minimal 3 jam perekaman dan diperlukan perekaman pada malam hari untuk meminimalisir *anthropogenic noise* sehingga, hasil yang didapatkan lebih detail. Faktor lain yang dapat mempengaruhi adalah mata air panas Selogajah memiliki manifestasi yang tidak begitu besar dikarenakan memiliki suhu sekitar $43,1^\circ$ yang mengacu dari buku Potensi Panas Bumi Indonesia (Direktorat Panas Bumi dkk., 2017).

Tabel 4. 5 Tabel Ringkasan Parameter PCA daerah Manifestasi Air Panas

Parameter	Nilai Minimum	Nilai Maksimum	Rata-rata
Dip	89.99793206	89.99997801	89.99736525
Azimut	-1.28	1.63	0.161573333

<i>Rectilinearity</i>	0.000181899	0.000272129	0.000214212
Nilai Eigen Terbesar	5166.366667	7499.472222	6811.219445

Tabel 4. 6 Tabel Ringkasan Parameter PCA daerah non Manifestasi Air Panas

Parameter	Nilai Minimum	Nilai Maksimum	Rata-rata
Dip	89.99764992	89.9988222	89.99828397
Azimut	0.21	1.85	0.76
<i>Rectilinearity</i>	0.00017917	0.000317252	0.000223732
Nilai Eigen Terbesar	5416.422222	7499.455556	7151.48982

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil dari analisis kurva VHSR tidak teramati adanya perbedaan antara daerah manifestasi air panas dan daerah yang tidak terdapat manifestasi air panas. Tidak adanya perbedaan dapat diakibatkan oleh durasi perekaman yang kurang panjang dan daerah penelitian termasuk daerah manifestasi begitu besar.
2. Hasil dari analisis parameter polarisasi PCA tidak teramati adanya perbedaan perbedaan antara daerah manifestasi air panas dan daerah yang tidak terdapat manifestasi air panas. . Tidak adanya perbedaan dapat diakibatkan oleh durasi perekaman yang kurang panjang dan daerah penelitian termasuk daerah manifestasi begitu besar.
3. Arah partikel pada daerah manifestasi air panas mengarah ke Utara.

5.2 Saran

Adapun saran untuk mengembangkan penelitian selanjutnya diperlukan pengukuran data mikrotremor dengan waktu perekaman dengan minimal waktu perekaman 3 jam agar didapatkan hasil data yang detail dan akurat (berkaca pada penelitian Saenger,2009).

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Bommer, J.J., Akkar, S. dan Kale, Ö. (2011), "A model for vertical-to-horizontal response spectral ratios for Europe and the middle east", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.101, No.4, hal. 1786–1806. <http://doi.org/10.1785/0120100285>.
- Bozorgnia, Y. dan Campbell, K.W. (2004), "The vertical-to-horizontal response spectral ratio and tentative procedures for developing simplified V/H and vertical design spectra", *Journal of Earthquake Engineering*, Vol.8, No.2, hal. 175–207. <http://doi.org/10.1080/13632460409350486>.
- Bozorgnia, Y., Eeri, M. dan Campbell, K.W. (2016), *Ground Motion Model for the Vertical-to-Horizontal (V/H) Ratios of PGA, PGV, and Response Spectra*.
- Chen, B. kui, Wang, D. sheng, Li, H. nan, Sun, Z. guo dan Li, C. (2017), "Vertical-to-horizontal response spectral ratio for offshore ground motions: Analysis and simplified design equation", *Journal of Central South University*, Vol.24, No.1, hal. 203–216. <http://doi.org/10.1007/s11771-017-3421-0>.
- Dangel, S., Schaepman, M.E., Stoll, E.P., Carniel, R., Barzandji, O., Rode, E.D. dan Singer, J.M. (2003), "Phenomenology of tremor-like signals observed over hydrocarbon reservoirs", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol.128, No.1–3, hal. 135–158. [http://doi.org/10.1016/S0377-0273\(03\)00251-8](http://doi.org/10.1016/S0377-0273(03)00251-8).
- Direktorat Panas Bumi, Ditjen EBTKE Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi dan Badan Geologi (2017), *POTENSI PANAS BUMI INDONESIA JILID 1 Penyusun*.
- E. R. Kanasewich (1981), "Timec Sequence Analysis in Geophysics", *University of Alberta Press, Edmonton, Alta.*.
- De Genevraye, P. dan Samuel, L. (1972), *Geology of the Kendeng Zone (Central & East Java)*.
- Hall, R. (2012), "Late Jurassic-Cenozoic reconstructions of the Indonesian region and the Indian Ocean" *Tectonophysics*. <http://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.04.021>.
- Husein, S. (2013), "Perkembangan Tektonik Pegunungan Selatan Yogyakarta: dari busur volkanik hingga patahan bongkah, sebuah kontribusi

pemikiran.", *Prosiding Seminar Nasional "Tantangan dan Strategi Pendidikan Geologi dalam Pembangunan Nasional,"* hal. 12 hal.

- Husein, S., Mustofa, A., Matikayuda, An. dan Sudarno, I. (2008), "Kompleks Lipatan Alaskobong: laboratorium Alam Geologi Struktur", *Seminar Nasional Ilmu Kebumihan "Tantangan dan Strategi Pendidikan Geologi dalam Pembangunan Nasional" 15 Februari 2008-Jurusan Teknik Geologi FT UGM Yogyakarta*, Vol.2, No.February. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.5184.3286>.
- Jenkins, G.. dan Watts, D.. (1968), "Spectral Analysis and its Applications", *Holden-Day, Inc., 500 Sansome Street, San Francisco, California* ,.
- Jurkevics, A. (1988), *POLARIZATION ANALYSIS OF THREE-COMPONENT ARRAY DATA*.
- Keith Nicholson (1993), "Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques", *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, hal. 1–263.
- Kiyoshi, K. (1983), "Engineering Seismology", *University of Tokyo Press*, hal. 1–251.
- Kurniawati, D., Maryanto, S. dan Wasis (2017), "PENENTUAN PUSAT AKTIVITAS HIDROTERMAL DAERAH CANGAR, JAWA TIMUR, BERDASARKAN ANALISIS PERGERAKAN PARTIKEL (PARTICLE MOTION)", *Jurusan Fisika, Universitas Brawijaya Malang*,.
- Kyaw, Z.L., Pramumijoyo, S., Husein, S., Fathani, T.F. dan Kiyono, J. (2013), "GROUND MOTION IN YOGYAKARTA CITY, YOGYAKARTA SPECIAL PROVINCE, INDONESIA ON DENSELY MICROTREMOR OBSERVATIONS AND SHEAR WAVE VELOCITY", *J. SE Asian Appl. Geol.*, Vol.5, No.1. <http://doi.org/10.22146/jag.7204>.
- Lambert, M., Zurich, E., Saenger, E., Quintal, B. dan Schmalholz, S. (n.d.), *Detection of a viscoelastic inclusion using spectral attributes of the quasi-stationary seismic surface response*.
- Lambert, M.A., Schmalholz, S.M., Saenger, E.H. dan Steiner, B. (2009), "Low-frequency microtremor anomalies at an oil and gas field in Voitsdorf, Austria", *Geophysical Prospecting*, Vol.57, No.3, hal. 393–411. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2478.2008.00734.x>.
- Lestari, S. (2018), *Particle Motion Analysis Data Mikrotremor Untuk Menentukan Potensi Longsor (Studi Kasus: Jalan Raya Trenggalek-Ponorogo KM 23)*, Sepuluh Nopember Institute of Technology.
- Maubana, W.M., Maryanto, S. dan Nadir, A. (2019), *Geochemical Analysis of*

Mount Pandan Geothermal Area in East Java Indonesia. Diambil dari www.ijiset.com.

- Maulidiya, S. dan Rusli (2017), *Penentuan Frekuensi Natural Dan Arah Pergerakan Gelombang (Studi Kasus: Jembatan Soekarno Hatta Kota Malang)*.
- Nguyen, D.T., Brown, R.D. dan Lawton, D.C. (2001), *Polarization filter for multi-component seismic data*.
- Novian, M.I. dan Husein, S. (2014), *Buku Panduan Ekskursi Geologi Regional 2014 (Pegunungan Selatan- Zona Solo- Zona Kendeng- Zona Randublatung- Zona Rembang)*..
- Nur Fadhli, F. dan Kin Gumandar, L. (2018), *Natural Frequency, Displacement, and Particle Motion Analysis For Bridge Strength Evaluation: A Case Study From Kalasan, Central Java, Indonesia*.
- Nurhanafi, K., Nugroho, B. dan Yosaphat, S. (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)", *Jurnal Fisika Volume 5, Nomor 2, UNY*..
- Prabowo, U.N., Amalia, A.F. dan Edwin Wiranata, F. (2017), "Identifikasi Potensi Pergerakan Tanah Pada Lereng Yang Dipicu Gempabumi Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor", *Wahana Fisika*,2(2), hal. 1–11.
- Prasetyadi, C. (2007), "Evolusi tektonik Paleogen Jawa bagian timur", *Desertasi, Program Doktor Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung*..
- Saenger, E.H., Zurich, E., Torres, A., Rentsch, S., Berlin, F., Lambert, M., Schmalholz, S.M. dan Mendez-Hernandez, E. (2009), *A hydrocarbon microtremor survey over a gas field: Identification of seismic attributes*.
- Setijadji, L.D. (2010), *Segmented Volcanic Arc and its Association with Geothermal Fields in Java Island, Indonesia*.
- Sribudiyani, Prasetya, I., Muchsin, N., Sapiie, B., Ryacudu, R., Asikin, S., Kunto, T., Harsolumakso, A.H., Astono, P. dan Yulianto, I. (2003), *The Collision of the East Java Microplate and Its Implication for Hydrocarbon Occurrences in the East Java Basin*, No.January. <http://doi.org/10.29118/ipa.1530.03.g.085>.
- Steiner, B., Saenger, E.H. dan Schmalholz, S.M. (2008), "Time reverse modeling

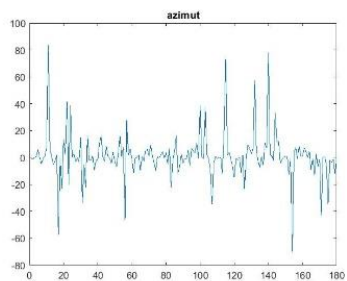
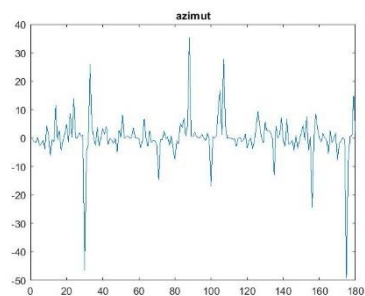
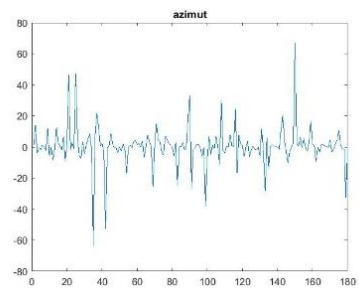
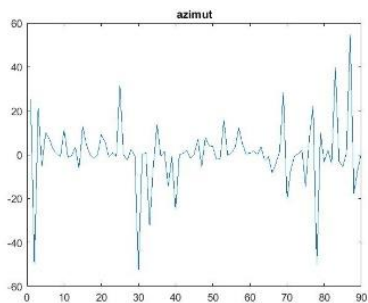
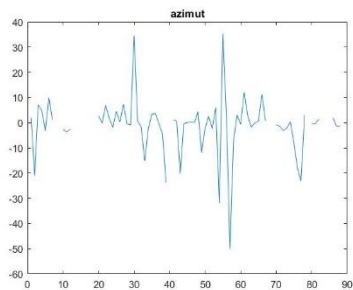
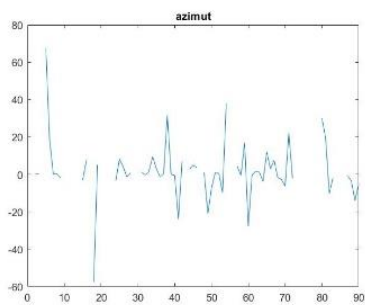
of low-frequency microtremors: Application to hydrocarbon reservoir localization", *Geophysical Research Letters*, Vol.35, No.3. <http://doi.org/10.1029/2007GL032097>.

Van Bemmelen (1949), *RW Van Bemmelen Geology of Indonesia Vol-IA General*,.

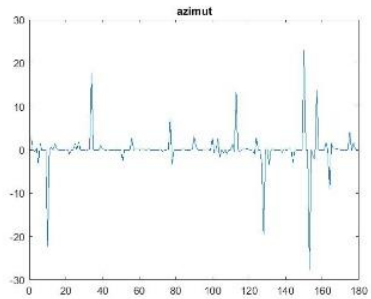
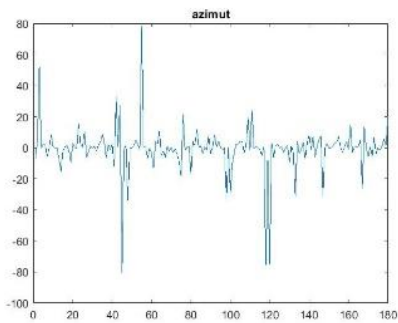
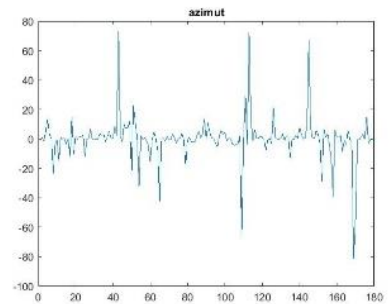
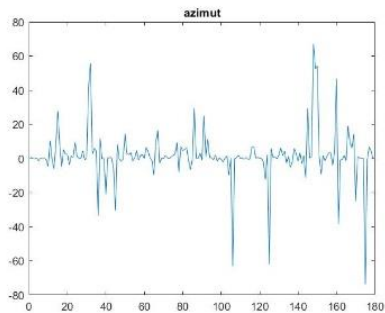
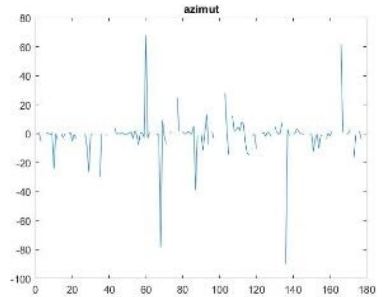
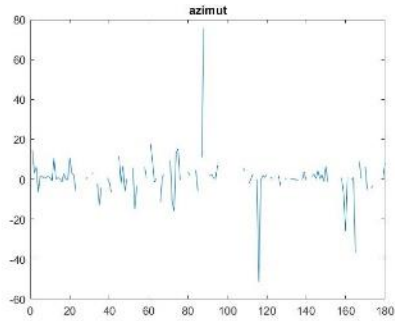
Warnana, D. (2012), *Application of Empirical Mode Decomposition to Noise Reduction in Passive Seismic*.

Zheng, Y., Wang, Y. dan Chang, X. (2016), "Wave equation based microseismic source location and velocity inversion", *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Vol.261, hal. 46–53. <http://doi.org/10.1016/j.pepi.2016.07.003>.

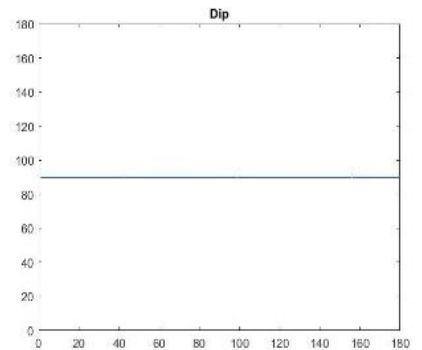
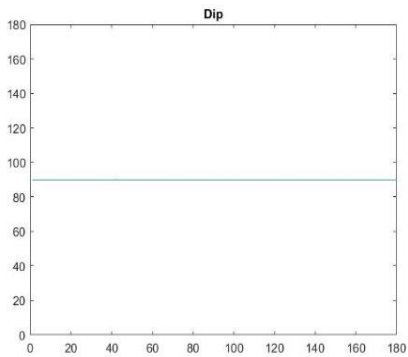
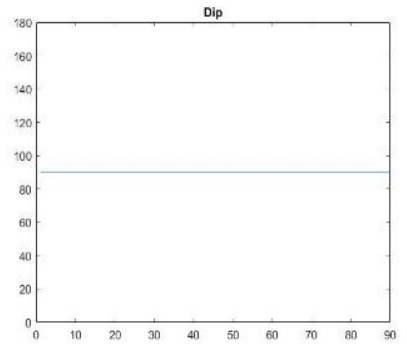
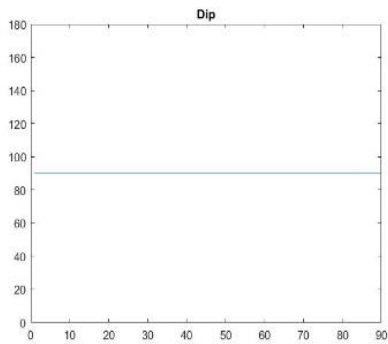
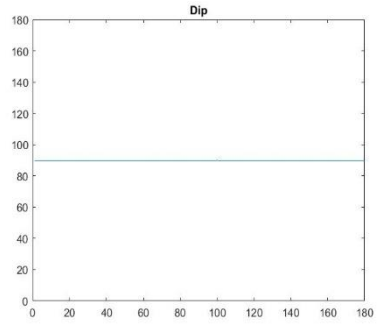
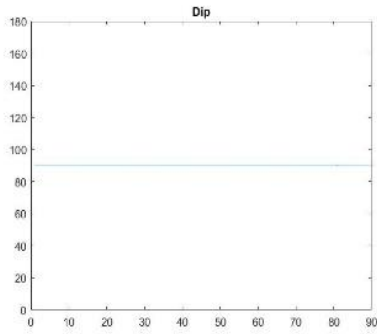
LAMPIRAN



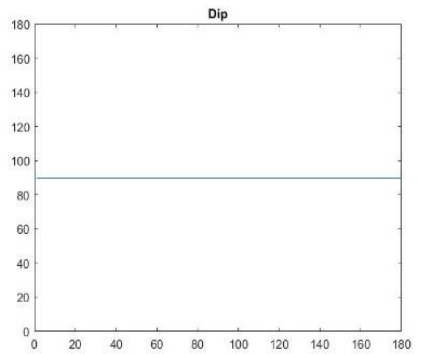
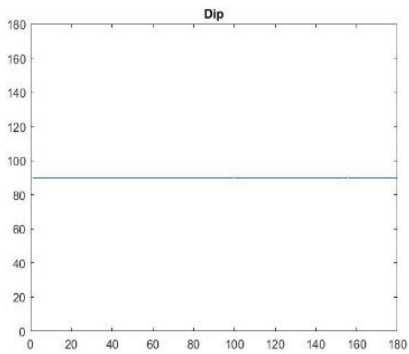
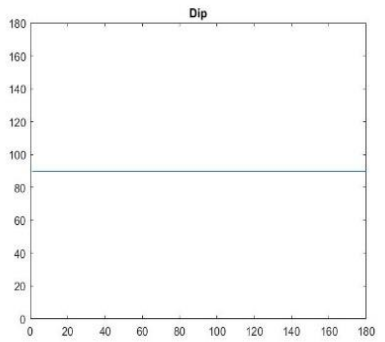
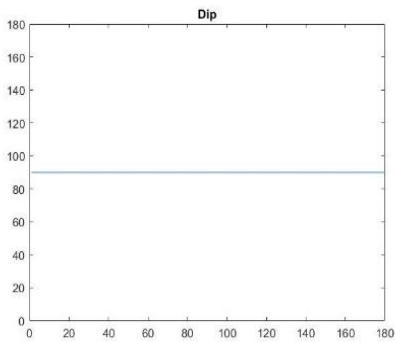
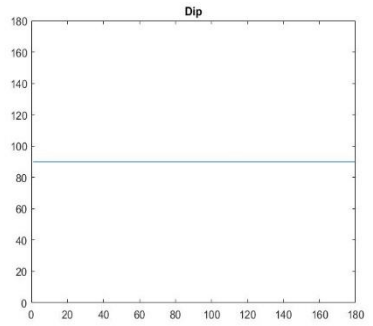
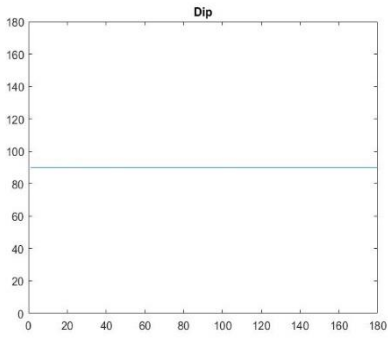
Parameter Azimut Daerah Manifestasi Air Panas



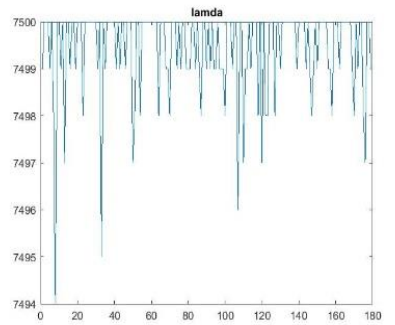
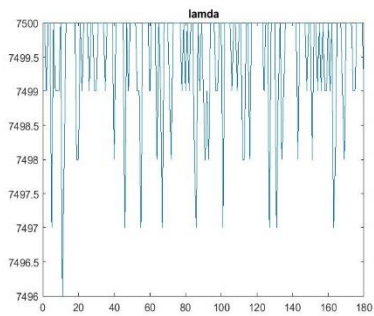
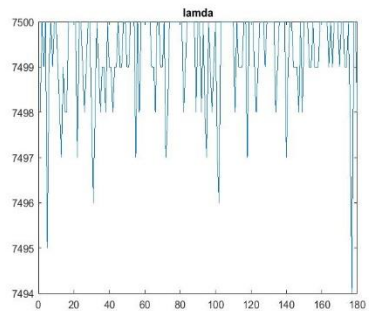
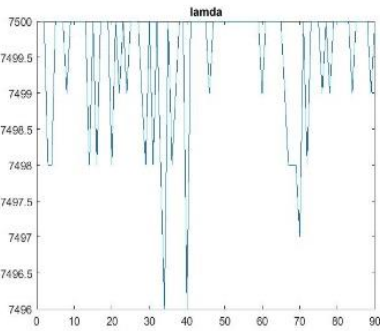
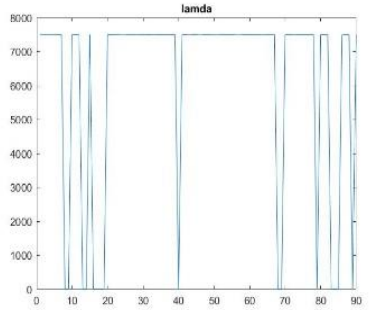
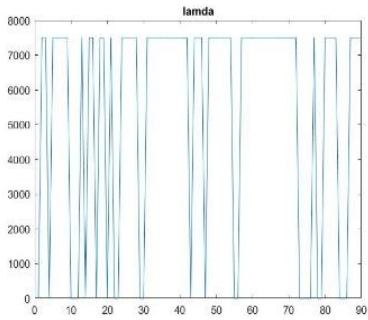
Parameter Azimut Daerah Non Manifestasi Air Panas



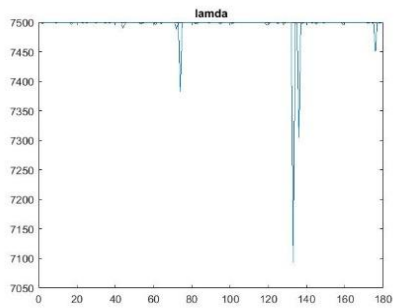
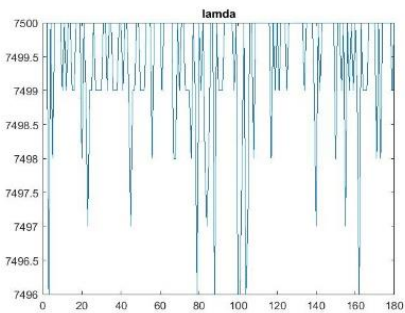
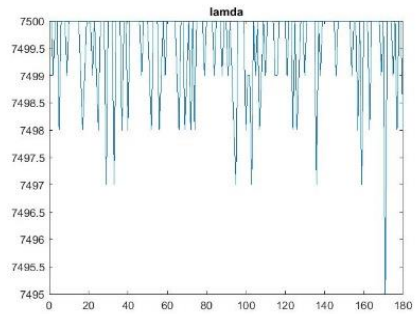
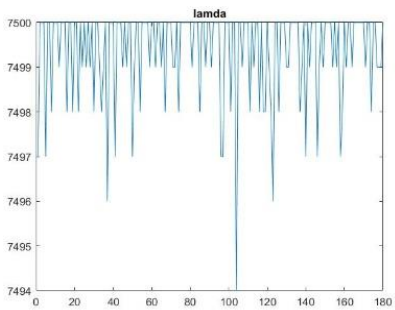
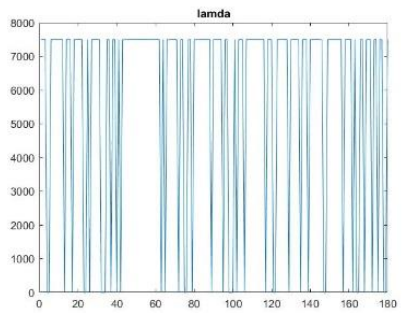
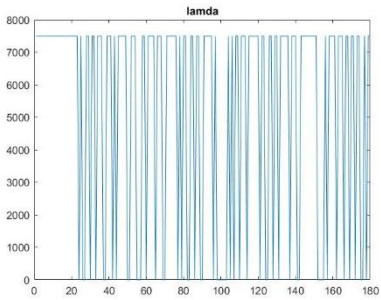
Parameter Dip Daerah Manifestasi Air Panas



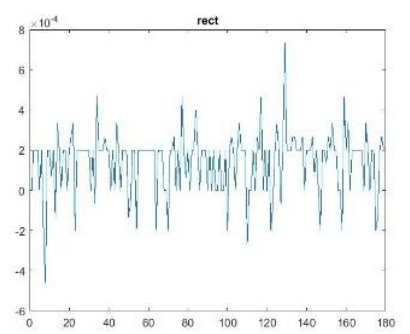
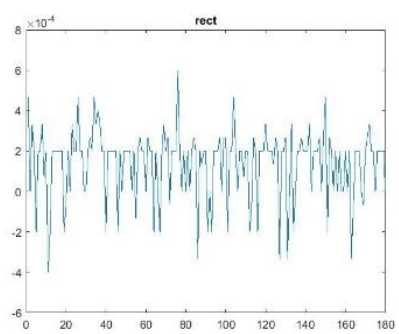
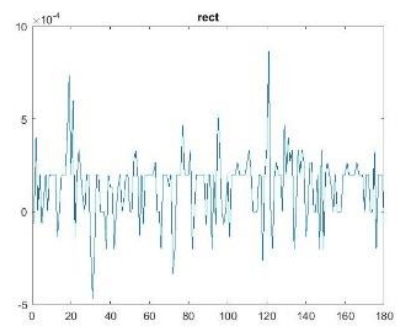
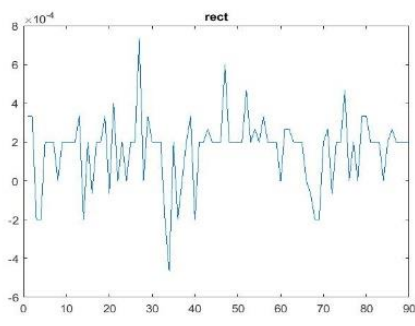
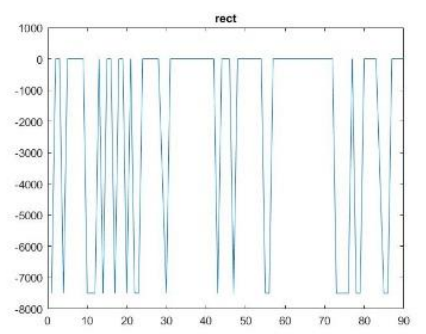
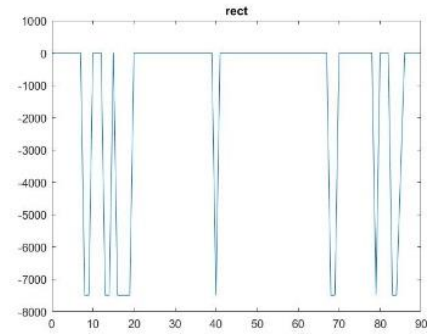
Parameter Dip Daerah Non Manifestasi Air Panas



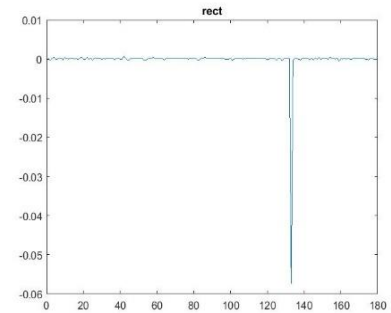
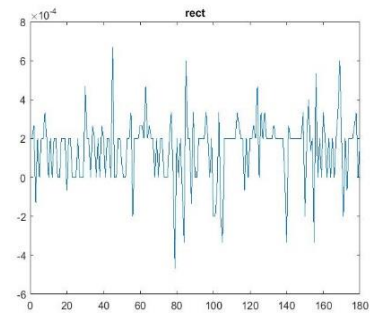
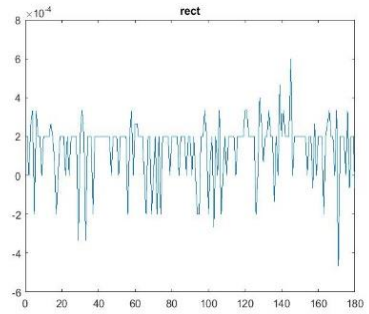
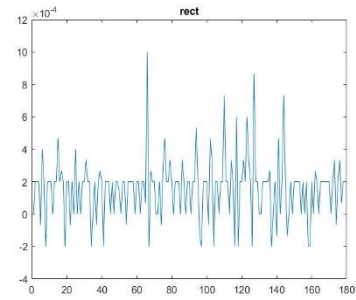
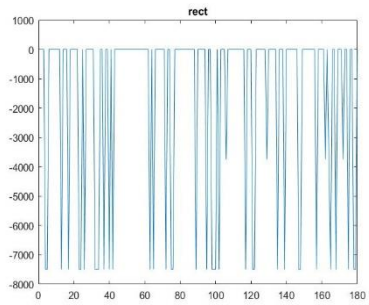
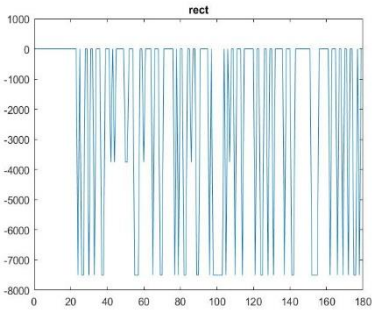
Nilai Eigen Terbesar Daerah Manifestasi Air panas



Nilai Eigen Terbesar Daerah Non Manifestasi Air panas



Parameter *Rectilinearity* Daerah Manifestasi Air panas



Parameter *Rectlinearity* Daerah Non Manifestasi Air panas

Panduan Script

Proses	Script	Penjelasan
Input data	<pre>close all;clc;clear all; % load data pada data microtremor data=load('GMM50_LP.txt'); [p,q] = size(data); N=2500 tmax = 15; t = tmax*60; fs = 250; T = 1/fs; f=(fs/N)*(0:fix(N/2)-1); wdw = 10; index = wdw*fs for i=1:index:p-index k = (i:i+(index-1)) ux=data((i:i+(index-1)),[1]) uy=data((i:i+(index-1)),[2]) uz=data((i:i+(index-1)),[3])</pre>	<p>-Digunakan untuk menentukan inputan data awal.</p> <p>-tmax adalah waktu maksimal perekaman data</p> <p>-Fs = frekuensi sampling</p> <p>-T = periode</p> <p>-f = frekuensi</p> <p>-wdw = windowing data</p>
detrend	<pre>x=detrendma(ux,10); y=detrendma(uy,10); z=detrendma(uz,10);</pre>	
Polarisasi (PCA)	<pre>N=numel(ux); Cxx=1/N*(ux*ux'); Cxy=1/N*(ux*uy');Cyx=Cxy; Cxz=1/N*(ux*uz');Czx=Cxz; Cyy=1/N*(uy*uy'); Cyz=1/N*(uy*uz');Czy=Cyz; Czz=1/N*(uz*uz'); C=[Cxx Cxy Cxz;Cyx Cyy Cyz;Czx Czy Czz]; % matrik Covarian [P,D]=eig(C);% P vektor Eigen, D nilai eigen [n,lamda]=sort(diag(D));% mengurutkan nilai Eigen Lamb=lamda(1); % dipilih pada lamda terbesar L=1-(lamda(2)+lamda(3))/(2*lamda(1));% rectilinearity P = real(P); P1=(P(:,lamda(1))); xp=P1(1); yp=P1(2);</pre>	<p>-C=Pembuatan matriks kovarian</p> <p>-P= Vektor eigen</p> <p>-D= Nilai eigen</p> <p>-Lamb=Nilai eigen terbesar</p> <p>-L=Nilai rectilinearity</p> <p>-Ph= Vektor eigen Horizontal</p>

	<pre> zp=P1(3); Ph=sqrt(xp^2+yp^2); % Vektor eigen Horizontal Dip=acos(abs(zp))*180/pi; Azimut=atan(yp/xp)*180/pi; </pre>	
VHSR	<pre> % Filtering % FFT hasil Filtering X=fftpro(x,T);Y=fftpro(y,T);Z=fftpro(z,T); % penggabungan Sumbu horisontal H=sqrt((X.^2+Y.^2)/2); VH=Z./H; plot(f,HV) title 'Grafik VHSR' xlabel 'frequency(Hz)' ylabel 'H/V' hold on </pre>	<pre> -X= hasil fft dari matiks x -Y= hasil fft dari matriks y Z=hasil fft dari matriks z -H= penggabungan sumbu horisontal -VH= Nilai VH </pre>
Power Spectral Density	<pre> L=numel(z); fs=1/T; dsp=fft(z).*conj(fft(z)); psd=dsp(1:fix(L/2))/(fs*L/2) figure(3); plot(f,psd) xlabel 'frequency(Hz)' ylabel 'PSD' title 'PSD' hold on </pre>	Digunakan untuk melihat peak dari VH

BIOGRAFI PENULIS



Abiyyu Tsany lahir di Jakarta, 27 Mei 1998. Penulis menempuh pendidikan dimulai di SDI PB Sudirman (2006-2010), SMP Negeri 41 Jakarta (2010-2013), SMA Negeri 48 Jakarta (2013-2016), dan pada tahun 2016 penulis resmi menjadi mahasiswa jurusan Teknik Geofisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS.) Surabaya.

Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS memiliki pengalaman yang telah didapatkan. Penulis aktif menjabat sebagai staff departemen Hubungan Luar di Himpunan Teknik Geofisika ITS periode 2017-2018 dan kepala divisi hubungan eksternal departemen Hubungan Luar di Himpunan Teknik Geofisika ITS periode 2018-2019. Penulis turut serta menjadi bagian dari acara yang di selenggarakan Society of Petroleum Engineers (SPE) yaitu Petrolida tahun 2018 sebagai sub-koordinator Liason Officer Smart Competition. Penulis turut serta menjadi bagian dari acara ITS Expo 2017 sebagai staff divisi Entertainment Show. Penulis turut serta menjadi bagian dari acara yang diadakan Himpunan Teknik Geofisika ITS yaitu *Geoscience Atmosphere* sebagai sub-koordinator Liason Officer pada tahun 2017 dan menjabat sebagai coordinator Liason Officer pada tahun 2019. Penulis mengikuti pelatihan mengikuti pelatihan LKMM tingkat dasar yang diselenggarakan oleh BEM FTSP ITS pada tahun 2016. Penulis mengikuti pelatihan *Petrophysics Training* yang diselenggarakan oleh Himpunan Teknik Geofisika ITS pada tahun 2019. Penulis pernah melakukan kerja praktik di Pertamina Hulu Energi ONWJ pada tahun 2019 selama satu bulan.

Apabila ingin berdiskusi lebih lanjut terkait Tugas Akhir dapat menghubungi penulis melalui alamat *e-mail* abiyyut@yahoo.com

-Sekian dan Terima Kasih-