

**KARAKTERISTIK MIKROTREMOR BERDASARKAN  
ANALISIS SPEKTRUM, TFA (*TIME FREQUENCY ANALYSIS*)  
DAN ANALISIS SEISMISITAS PADA KAWASAN JALUR  
SESAR OPAK**

**SKRIPSI**

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta  
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



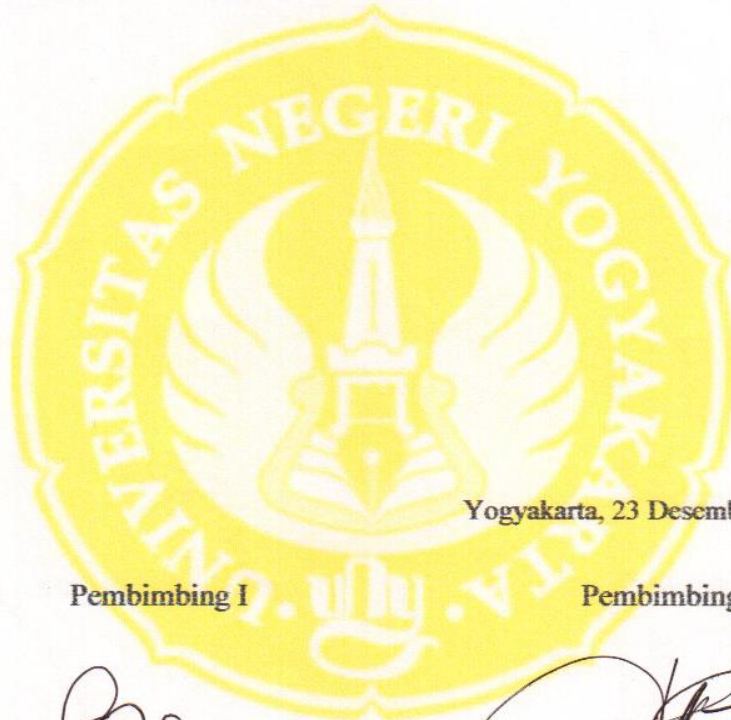
**Oleh:**

**UMI HABIBAH  
12306144028**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
2016**

## PERSETUJUAN


Skripsi yang berjudul **“KARAKTERISTIK MIKROTREMOR BERDASARKAN ANALISIS SPEKTRUM, TIME FREQUENCY ANALYSIS (TFA), DAN ANALISIS SEISMISITAS PADA KAWASAN SESAR OPAK”** yang disusun oleh Umi Habibah, NIM 12306144028 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.




Yogyakarta, 23 Desember 2016

Pembimbing I




Pembimbing II

  
Nugroho Budi Wibowo, M.Si  
NIP. 19840223 200801 1 011

  
Denny Darmawan, M.Sc  
NIP. 19791202 200312 1 002

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul **“KARAKTERISTIK MIKROTREMOR BERDASARKAN ANALISIS SPEKTRUM, TFA (*TIME FREQUENCY ANALYSIS*), DAN ANALISIS SEISMISITAS PADA KAWASAN JALUR SESAR OPAK“** yang disusun oleh Umi Habibah, NIM. 12306144028 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 3 Januari 2017 dan dinyatakan LULUS.

DEWAN PENGUJI			
Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Nugroho Budi Wibowo, M.Si</u> NIP. 19840223 200801 1 001	Ketua Penguji		11/01 2017
<u>Denny Darmawan, M. Sc</u> NIP. 19791202 200312 1 002	Sekretaris Penguji		08/01 2017
<u>Yusman Wiyatmo, M.Si</u> NIP. 19680712 199303 1 004	Penguji Utama		07/01 2017

Yogyakarta, 13 Januari 2017

Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,



Dr. Hartono  
NIP.19620329 198702 1 002

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Umi Habibah

NIM : 12306144028

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul : *Karakteristik Mikrotremor berdasarkan Analisis Spektrum, TFA (Time Frequency Analysis), dan Analisis Seismisitas pada Kawasan Jalur Sesar Opak*

menyatakan bahwa penelitian ini adalah benar-benar karya saya sendiri, sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Pernyataan ini oleh penulis dibuat dengan penuh kesadaran dan apabila ternyata terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

Yogyakarta, 29 Desember 2016

Yang Menyatakan,



Umi Habibah  
NIM. 12306144028

## **MOTTO**

“Jika kamu gagal, maka bangkitlah, gagal, bangkitlah, gagal bangkitlah, maka kamu sejengkal dari keberhasilan.”

“Yakinlah setelah kesulitan ada kemudahan”

“Intuisi lebih penting daripada penjelasan. Imajinasi lebih penting daripada pengetahuan” ~ Albert Einstein

## PERSEMBAHAN

Karya sederhana ini kupersembahkan untuk:

Mimi tercinta yang tak pernah lelah untuk menyayangi,  
memberikan do'a, dukungan dan semangat

Bapak tercinta yang selalu memberikan cinta, motivasi, dukungan  
dan semangat

Adik-adik tersayang Fikri, Yusuf, dan Azizah yang memberikan  
motivasi untuk menjadi lebih baik

Yang selalu mengingatkan, yang memberikan waktunya untuk  
tempat berkeluh kesah, yang selalu mendukung dan memberikan  
semangat Herlangga Sugiharto

Almamater yang telah memberikan banyak pengalaman,  
Universitas Negeri Yogyakarta

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, yang senantiasa melimpahkan karunia dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat melakukan penelitian dan menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul “Karakteristik Mikrotremor Berdasarkan Analisis Spektrum, TFA (*Time Frequency Analysis*), dan Analisis Seismisitas pada Kawasan Jalur Sesar Opak” guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana sains di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Yogyakarta. Penyusunan skripsi ini tak lepas dari bantuan, bimbingan, serta arahan dari berbagai pihak. Seiring dengan selesainya skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan FMIPA UNY yang telah mengesahkan dan menyetujui skripsi ini.
2. Bapak Dr. Slamet Suyanto selaku Wakil Dekan I FMIPA UNY yang telah menyetujui izin penelitian ini sehingga penelitian dapat terlaksana.
3. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Kajurdik Fisika dan Bapak Nur Kadarisman, M.Si selaku Kaprodi Fisika FMIPA UNY yang telah membantu dalam hal administrasi skripsi ini.
4. Bapak Nur Kadarisman, M.Si selaku Kaprodi Fisika FMIPA UNY yang telah membantu dalam hal administrasi skripsi ini.
5. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si sebagai dosen pembimbing I yang memberikan masukan, bimbingan, arahan, dan dorongan motivasi dalam penelitian, penyusunan, dan penulisan skripsi ini.
6. Bapak Denny Darmawan, M.Sc sebagai dosen pembimbing II yang memberikan masukan, bimbingan, arahan, dan dorongan motivasi dalam penelitian, penyusunan, dan penulisan skripsi ini.
7. Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta yang memberikan izin penelitian di kawasan Sesar Opak.
8. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika yang telah mengizinkan melakukan penelitian ini.
9. Seluruh dosen, dan staf prodi pendidikan fisika FMIPA UNY yang telah banyak membantu selama kuliah dan penelitian berlangsung.
10. Teman-teman UKM Penelitian UNY yang telah memberikan motivasi dan dukungan selama penulisan skripsi.

11. Tim penelitian Sesar Opak (Yustina, Rifka, Yuni, Arif).
12. Sahabat-sahabat yang telah meberikan semangat dan meluangkan waktunya untuk mendengarkan keluh kesah dalam penulisan skripsi (Rara, Septi, Asti)
13. Teman-teman Geofisika UNY yang telah membantu dalam penelitian ini.
14. Teman-teman seperjuangan FISIKA E 2012 yang memberikan dukungan, pendampingan, dan doa selama menempuh studi di Prodi Fisika.
15. Teman-teman seperjuangan yang tak pernah henti untuk mengingatkan dan memberikan semangat (Winda, Lusi, Nana, Ika, Meita).
16. Serta semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan, pengambilan data, serta penyelesaian penelitian ini. Semoga segala bantuan yang telah Bapak/Ibu/Saudara berikan mendapatkan balasan yang lebih dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tentu masih memiliki kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan karya berikutnya. Semoga karya ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan para pembaca pada umumnya. Amin.

Yogyakarta, 29 Desember 2016

Penulis,

Umi Habibah

# KARAKTERISTIK MIKROTREMOR BERDASARKAN ANALISIS SPEKTRUM, TFA (*TIME FREQUENCY ANALYSIS*) DAN ANALISIS SEISMISITAS PADA KAWASAN JALUR SESAR OPAK

Oleh:

Umi Habibah  
12306144028

## ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang Karakteristik Mikrotremor menggunakan data mikrotremor di kawasan jalur Sesar Opak. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik mikrotremor berdasarkan citra TFA dan spektrum, dan mengetahui seismisitas menggunakan analisis *b-value* di sekitar kawasan Sesar Opak.

Data penelitian ini diambil menggunakan seismometer tipe TDV-23S dan TDL-303S. Data mikrotremor diambil dari 39 titik data primer dengan spasi *grid* 2 km dan 48 titik data sekunder. Data yang didapat dari pengukuran tersebut berupa sinyal mikrotremor di setiap titik penelitian. Data tersebut kemudian diolah dengan metode *Time Frequency Analysis* dan spektrum menggunakan aplikasi *Sessaray-Geopsy* dan dikorelasikan dengan data bor untuk mengetahui struktur lapisan tanah di sekitar daerah penelitian. Untuk analisis seismisitas menggunakan data gempabumi tahun 2006-2016 dari BMKG yang kemudian diolah menggunakan analisis maksimum *likelihood* untuk mengetahui *b-value*.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik mikrotremor berdasarkan citra TFA dan spektrum gelombang yang dikorelasikan dengan data bor dapat dikelompokkan sesuai dengan jenis formasi sekitar lokasi penelitian yang berada pada tanah aluvium, formasi Wonosari, formasi Semilir, dan formasi Endapan Merapi Muda. Analisis seismisitas di sekitar Sesar Opak memiliki magnitudo gempa antara 1,7 SR – 5,9 SR dengan kedalaman 10 km – 20 km dengan *b-value* 0,6 – 4,4.

**Kata Kunci:** *Time Frequency Analysis*, Analisis seismisitas, *B-value*, Karakteristik mikrotremor, Sesar Opak.

***MICROTREMOR CHARACTERISTICS BASED ON SPECTRUM  
ANALYSIS, TIME FREQUENCY ANALYSIS, SEISMICITY ANALYSIS ON  
OPAK FAULT LINES AREA***

By:  
Umi Habibah  
12306144028

**ABSTRACT**

The research about microtremor characteristics using microseismic data on Opak fault lines had been finished. The research aimed to determine the microtremor characteristics based on *Time Frequency Analysis* and spectral curve, and analysis seismicity using the b-value analysis around Opak fault area.

This research data was taken using type TDV-23s and TDL-303S seismometer. The primary data was taken from 39 points by 2 km grid spacing and 48 secondary data points. The data obtained from each measurement points was microtremor signal. The data was processed using Time Frequency Analysis and spectrum method on Sessaray-Geopsy and correlated with drill data to determine the structure of soil layer around measurement points. For seismicity analysis was used earthquake data since 2006-2016 for BMKG then processed using the maximum likelihood analysis to determine *b*-value.

The results indicate that microtremor characteristics based on TFA curve and spectrum correlated with the drill data were according grouped by the type of formations which are the alluvium, Wonosari formation, Semilir formation, and Endapan Merapi Muda formation. Seismicity analysis around Opak fault has earthquake magnitude between magnitude 1.7 - 5.9 RS, has depth of 10 km - 20 km to the *b*-value from 0.6 to 4.4.

**Keywords:** *Time Frequency Analysis, seismicity analysis, b-value, characteristics mikrotremor, Opak Fault.*

## DAFTAR ISI

JUDUL .....	i
PERSETUJUAN .....	ii
PENGESAHAN .....	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
MOTTO .....	iv
PERSEMBAHAN .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
ABSTRAK .....	ix
ABSTRACT .....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah.....	6
C. Batasan Masalah.....	6
D. Rumusan Masalah .....	7
E. Tujuan Penelitian .....	7
F. Manfaat Penelitian .....	7
BAB II DASAR TEORI .....	8
A. Gempabumi .....	8
B. Gelombang Seismik .....	12
a. Gelombang Badan ( <i>Body Wave</i> ) .....	16
b. Gelombang Permukaan ( <i>Surface Wave</i> ).....	18
C. Mikrotremor .....	19
D. Seismometer dan Seismograf.....	21
E. Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR).....	22
F. Time-Frequency Analysis (TFA).....	24
G. Seismisitas.....	26

H. Geologi Wilayah Penelitian .....	27
a. Aluvium (Qa) .....	28
b. Formasi Gunung Merapi Muda (Qvm) .....	28
c. Formasi Wonosari – Punung (Tmwl) .....	28
d. Formasi Semilir (Tms) .....	28
e. Formasi Nglanggran .....	29
I. Sesar .....	29
1). Macam – Macam Sesar .....	29
2) Sesar Opak .....	30
J. Kerangka Berpikir .....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>32</b>
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	32
B. Instrumen Penelitian.....	32
C. Teknik Pengambilan Data .....	34
D. Teknik Analisis Data.....	37
E. Diagram Alir Penelitian .....	41
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>42</b>
A. Karakteristik mikrotremor di kawasan Sesar Opak .....	42
B. Analisis Seismisitas.....	64
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>67</b>
A. Kesimpulan .....	67
B. Saran.....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>68</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Tektonik Kepulauan Indonesia beserta Zona Subduksinya .....	1
Gambar 2. Peta seismisitas Pulau Jawa tahun 1973-2007 .....	3
Gambar 3. Sketsa pergeseran lempeng tektonik .....	9
Gambar 4. Komponen-komponen tegangan .....	12
Gambar 5. Ilustrasi gerak partikel gelombang badan.....	17
Gambar 6. Ilustrasi gerak partikel gelombang permukaan .....	19
Gambar 7. Tampilan data mikrotremor pada perangkat lunak. ....	20
Gambar 8. Tampilan fisik seismometer tipe TDV-23S .....	21
Gambar 9. Tampilan fisik <i>Digital Portable Seismograph</i> tipe TDL-303S.....	22
Gambar 10. Struktur sesar.....	29
Gambar 11. Macam-macam jenis sesar .....	30
Gambar 12. Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor.....	34
Gambar 13. Peta lokasi desain survei pra lapangan.....	35
Gambar 14. Peta lokasi data penelitian .....	37
Gambar 15. Kurva spektrum .....	38
Gambar 16. Kurva TFA .....	38
Gambar 17. Pengambilan data <i>magnitude</i> sekitar daerah penelitian .....	40
Gambar 18. Diagram alir penelitian.....	41
Gambar 19. Contoh gelombang mikrotremor pada titik penelitian .....	42
Gambar 20. Zonasi citra TFA berdasarkan formasi geologi.....	44
Gambar 21. Persebaran wilayah zonasi TFA.....	45
Gambar 22. Citra TFAberdasarkan formasi geologi di kawasan Sesar Opak.....	46
Gambar 23. Citra TFA untuk titik D5.....	47
Gambar 24. Kurva spektrum titik D5.....	48
Gambar 25. Citra TFA untuk titik D3.....	49
Gambar 26. Kurva spektrum titik D3.....	50
Gambar 27. Citra TFA titik 20.....	51
Gambar 28. Kurva spektrum titik 20.....	52
Gambar 29. Citra TFA pada kawasan formasi Endapan Merapi Muda.....	53
Gambar 30. Citra TFA titik 13.....	54
Gambar 31. <i>Borehole</i> IKK Imogiri, YK 09, dan YK 17 .....	55
Gambar 32. Penampang melintang data bor pada zona pertama .....	55
Gambar 33. Kurva spektrum titik 13.....	56
Gambar 34. Citra TFA titik TA8.....	57
Gambar 35. <i>Borehole</i> IKK Pundong, YK 10, dan E26 BT .....	58
Gambar 36. Penampang melintang data bor pada zona kedua .....	58
Gambar 37. Kurva spektrum titik TA8 .....	60
Gambar 38. Citra TFA titik D7 .....	60
Gambar 39. <i>Borehole</i> TW 24 BT, TW 25 BT, dan YK 12 .....	62
Gambar 40. Penampang melintang data bor zona ketiga.....	62
Gambar 41. Kurva spektrum titik D7.....	63
Gambar 42. Peta Seismisitas di sekitar Sesar Opak.....	64
Gambar 43. Peta pemodelan <i>b-value</i> di sekitar Sesar Opak .....	66

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Skala intensitas gempa MMI .....	11
Tabel 2. Syarat Pengukuran Mikrotremor.....	36

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Data Hasil Penelitian.....	L1
LAMPIRAN 2 Data Gempabumi di sekitar Kawasan Sesar Opak.....	L4
LAMPIRAN 3 Perhitungan <i>b-value</i> .....	L13
LAMPIRAN 4 Citra TFA ( <i>Time Frequency Analysis</i> ).....	L14
LAMPIRAN 5 Kurva Spektrum .....	L24
LAMPIRAN 6 Proses Pengolahan Data .....	L32
LAMPIRAN 7 Foto Pengambilan Data .....	L47
LAMPIRAN 8 <i>Sheet</i> Pengambilan Data.....	L48

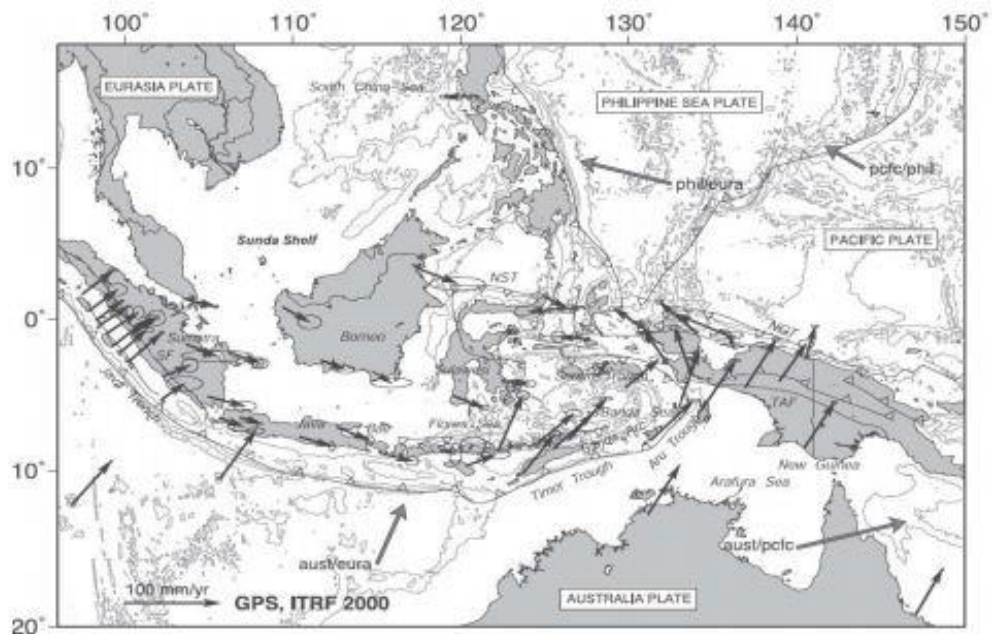


# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Indo-Australia di bagian selatan, lempeng Eurasia di bagian utara, dan lempeng Pasifik di bagian timur (Ibrahim, 2005). Pergerakan relatif ketiga lempeng ini menyebabkan terjadinya tumbukan antar lempeng yang mengakibatkan terbentuknya zona subduksi, sehingga terbentuk jalur magmatik, palung laut, jalur busur luar kepulauan, sesar aktif, dan gempa bumi (Daryono, 2010). Peta kepulauan Indonesia yang dilewati zona subduksi bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Tektonik Kepulauan Indonesia beserta Zona Subduksinya (Bock *et al.*, 2003).

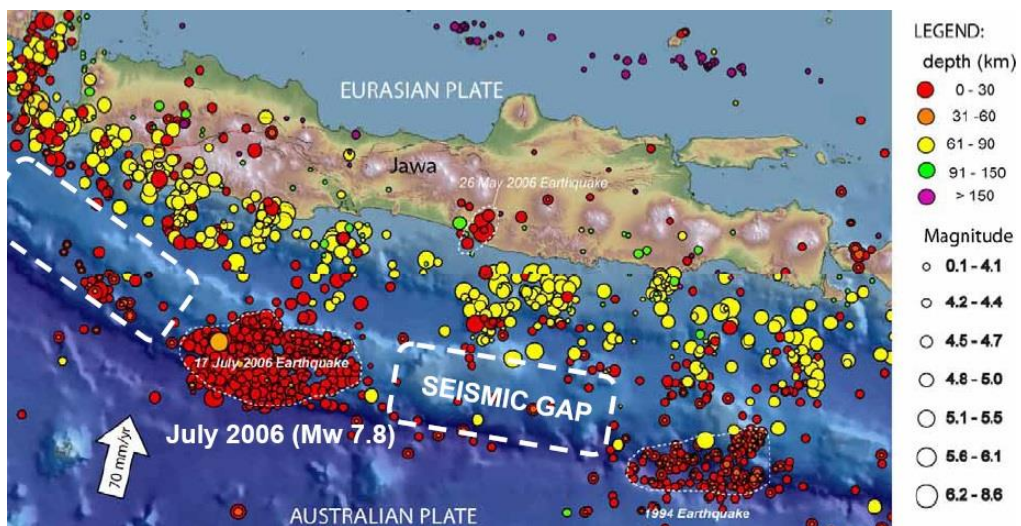
Daerah di Indonesia yang dilewati jalur subduksi dimulai dari wilayah pesisir Sumatera, selatan Jawa, hingga ke Laut Banda. Jalur yang dilalui oleh zona

subduksi biasanya rawan terjadi bencana gempa bumi. Hal ini disebabkan adanya sumber penunjaman lempeng kerak bumi yang dapat dibagi menjadi dua model yaitu pada lajur *mega thrust* yang merupakan jalur subduksi dangkal maupun dalam lajur Beniof, yaitu jalur subduksi yang mempunyai lajur tukik curam (BMKG, 2010).

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan salah satu daerah di Indonesia yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia yang dilewati Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia serta memiliki gunung berapi yaitu Gunung Merapi (Daryono, 2010). Akibat dari keberadaan lempeng dan gunung berapi, Daerah Istimewa Yogyakarta mempunyai aktivitas kegempaan yang cukup tinggi yang berasal dari gempa tektonik dan gempa vulkanik. Daerah Istimewa Yogyakarta pernah mengalami beberapa kali gempa besar seperti gempa bumi Bantul 10 Juni 1867 yang menyebabkan 372 rumah roboh dan menewaskan 5 orang. Gempa bumi besar juga terjadi pada tanggal 23 Juli 1943 yang mengakibatkan 564 orang luka parah, 31 orang meninggal, dan ribuan rumah roboh dan rusak. Gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006 dengan kekuatan 5,9 SR mengakibatkan lebih dari 6000 korban meninggal, lebih dari 40.000 korban luka-luka, dan lebih dari 1 juta jiwa kehilangan tempat tinggal (Daryono dkk, 2009).

Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki susunan tektonik beragam yang mengakibatkan wilayah Yogyakarta dan sekitarnya menjadi kawasan seismik aktif dengan tingkat kegempaan yang tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, hasil analisis seismisitas Daerah Istimewa Yogyakarta didominasi oleh gempa bumi dangkal dengan kedalaman kurang dari 60 kilometer dan gempa bumi menengah dengan kedalaman antara 60 – 300 kilometer. Sebaran gempa bumi

dengan kedalaman menengah tampak terkonsentrasi di Samudera Indonesia dan daerah pesisir selatan Yogyakarta. Sebaran gempabumi kedalaman menengah ini dinilai kurang berbahaya, karena hiposenternya yang relatif dalam dan pengaruhnya terhadap permukaan tidak terlalu signifikan. Gempabumi dalam dengan kedalaman di atas 300 kilometer dinilai tidak membahayakan, mengingat aktivitasnya yang sangat dalam (Daryono, 2010). Parameter analisis seismisitas dapat dilihat dari koordinat *latitude* dan *longitude*, kemiringan bidang subduksi (*dip*), pergeseran relatif lempeng (*rate*), nilai-a (*a-value*) yang menunjukkan indeks seismisitas dari periode gempabumi dan nilai-b (*b-value*) menunjukkan nilai seismotektonik berdasarkan magnitudo dan *stress* suatu wilayah yang bisa diketahui dari data gempa historis. Untuk mengetahui nilai-b di suatu wilayah dapat dilakukan dengan cara mengambil data-data gempa historis yang ada di wilayah tersebut.



Gambar 2. Peta seismisitas Pulau Jawa tahun 1973-2007 (Natawidjaja, 2008)

Hasil perhitungan BMKG menunjukkan bahwa gempabumi yang terjadi pada 27 Mei 2006 berada 25 km di sebelah selatan Pantai Parangtritis. Kedalaman

gempa diperkirakan mencapai kedalaman 33 km, dengan beberapa gempa susulan yang bergerak ke arah timur. Gempa ini diikuti oleh sekitar 300 gempa susulan, yang magnitudo gempanya di atas 4 SR (Daryono, 2010). Berdasarkan hasil kajian deformasi koseismik yang dilakukan oleh tim peneliti Teknik Geodesi ITB dari hasil survei GPS menyimpulkan bahwa sesar penyebab gempa bumi 27 Mei 2006 adalah sesar jenis sinistral dengan panjang 18 km lebar 10 km *strike* 48° dan *dip* 89° dan berada 3-4 km di sebelah timur dari lokasi Sesar Opak di kawasan Gunung Kidul yang biasa digambarkan sepanjang Sungai Opak yang ditunjukkan pada peta Geologi Yogyakarta (Abidin dkk., 2009). Sedangkan menurut peneliti dari Bapeten, hiposenter gempabumi berdasarkan hasil analisis *after shock data* terletak di sebelah barat dari Patahan Opak, yakni pada koordinat 8.24° LS dan 110.43° BT (koordinat USGS) dan pusat kerusakan diperkirakan tersebar sepanjang Patahan Opak (Haifani, 2008). Berdasarkan hasil kajian peneliti UNDIP menggunakan metode *gravity*, lokasi Sesar Opak secara umum berada di sebelah timur Sesar Opak yang digambarkan pada peta geologi (Irham dkk, 2010). Sesar Opak merupakan sesar normal atau sesar turun dengan bagian barat mengalami penurunan sedangkan bagian timur cenderung tetap dengan arah N 35° E dan berada di sebelah barat sungai Opak (Fathonah, 2014). Analisis seismisitas di sekitar Sesar Opak bagian selatan diketahui memiliki *magnitude* gempa antara 0,4 SR hingga 3,2 SR (Marsyelina, 2014).

Sesar Opak merupakan salah satu sesar aktif yang berada di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta. Diperkirakan beberapa gempabumi yang terjadi di Daerah Istimewa Yogyakarta berpusat pada kawasan Sesar Opak. Banyak kasus gempabumi menunjukkan bahwa tingkat kerusakan yang ditimbulkan suatu

gempabumi sangat bergantung pada kondisi topografi dan geologi permukaan. Salah satu metode yang digunakan untuk pemetaan daerah rawan kerusakan akibat gempabumi (*seismic microzonation*) adalah metode yang memanfaatkan survei mikrotremor untuk melihat pengaruh adanya *site effect* dan *soft soil* terhadap bangunan di suatu daerah (Irjan dan Bukhori, 2011).

Mikrotremor merupakan getaran lemah dari tanah yang disebabkan oleh gangguan alam atau buatan, seperti angin, gelombang laut, lalu lintas dan industri (Motamed, 2007). Pengukuran mikrotremor dilakukan untuk menentukan karakteristik dinamis (frekuensi dominan dan faktor amplifikasi) dari lapisan tanah yang dipelopori oleh Kanai dan Tanaka pada tahun 1954 dan 1961. Karakteristik mikrotremor mencerminkan karakteristik batuan di suatu daerah. Karakter mikrotremor mempunyai perbedaan pada pengukuran di daerah dengan kondisi geologi yang berbeda. Pengukuran mikrotremor sering dipraktikkan dalam karakterisasi suatu daerah karena kesederhanaannya, biaya yang rendah dan tidak mengganggu terhadap kegiatan lain (Motamed, 2007).

Analisa mikrotremor dapat digunakan untuk memperkirakan karakteristik tanah sehingga metode ini dapat melihat bagaimana pengaruh kondisi geologi setempat dan kondisi lapisan tanah di suatu daerah terhadap gempabumi. Karakteristik mikrotremor juga dapat ditinjau dari analisis spektrum dan analisis TFA (*Time Frequency Analysis*). Analisis TFA berguna untuk mengetahui distribusi frekuensi pada ketiga komponen seismogram dalam domain frekuensi dan amplitudo terhadap waktu. Analisis spektrum merupakan salah satu analisis yang berguna untuk mengetahui distribusi frekuensi dominan pada setiap titik pengukuran. Selain itu diperlukan juga analisis seismisitas untuk mengetahui

banyaknya gempa bumi dalam kurun waktu tertentu. Perhitungan nilai- $b$  ( $b$ -value) untuk sumber gempa dilakukan dengan cara mengambil data-data gempa historis yang ada di daerah tersebut, kemudian dianalisis secara statistik menggunakan model *Maximum Likelihood* (Aki, 1965).

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, dapat diidentifikasi masalah-masalah sebagai berikut:

1. Informasi karakteristik mikrotremor menggunakan analisis TFA di jalur Sesar Opak masih terbatas di sebelah selatan.
2. Penelitian terdahulu telah melakukan penelitian menggunakan metode *gravity*, GPS, magnetik serta mikrotremor tetapi metode mikrotremor di sekitar Sesar Opak masih terbatas di bagian selatan.
3. Informasi mengenai seismisitas di jalur Sesar Opak sudah ada namun masih terbatas di bagian selatan.

## **C. Batasan Masalah**

Ruang lingkup masalah yang diamati pada penelitian ini mempunyai batasan sebagai berikut:

1. Data yang digunakan dalam studi ini berupa data mikrotremor dengan koordinat geografis 423986 – 448441,7 mT dan 91223131,1 – 9142269 mU.
2. Mikrotremor diukur menggunakan seismometer tipe TDV-23S dan TDL-303S (*Digital Portable Seismograph*).

3. Pengambilan data mikrotremor mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh *SESAME European Research Project*.
4. Data mikrotremor yang digunakan diambil dari 39 titik yang berada di jalur Sesar Opak ditambah 48 data sekunder dari penelitian sebelumnya.

#### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat ditentukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik mikrotremor di sekitar Sesar Opak berdasarkan karakteristik citra TFA dan spektrum gelombang mikroseismik ?
2. Bagaimana nilai seismisitas di sekitar Sesar Opak dilihat dari parameter *b-value*, dari distribusi magnitudo dan kedalaman gempa ?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik mikrotremor di sekitar kawasan Sesar Opak berdasarkan karakteristik citra TFA dan spektrum gelombang mikroseismik.
2. Mengetahui nilai seismisitas di sekitar Sesar Opak berdasarkan *b-value*, distribusi magnitudo dan kedalaman gempa.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu:

1. Menambah ilmu pengetahuan dalam bidang kegempaan bagi masyarakat khususnya di kawasan jalur Sesar Opak.
2. Memberikan informasi kuantitatif tentang karakteristik dan nilai seismisitas di sekitar Sesar Opak.

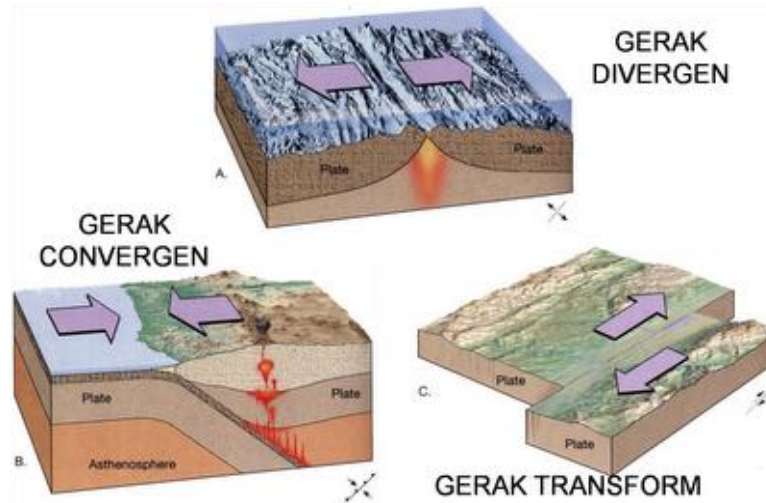
## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **A. Gempabumi**

Gempabumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempabumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempabumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (BMKG, 2010). Lempeng tektonik merupakan bagian dari litosfir padat yang terapung di atas mantel dan bergerak satu sama lainnya. Litosfir merupakan batuan yang relatif dingin dan di bagian paling atas berada pada kondisi padat dan kaku. Di bawah lapisan ini terdapat batuan yang jauh lebih panas yang disebut mantel. Lapisan ini sedemikian panasnya sehingga senantiasa dalam keadaan tidak kaku, dan dapat bergerak sesuai dengan proses pendistribusian panas yang dikenal sebagai aliran konveksi.

Ada tiga kemungkinan pergerakan satu lempeng tektonik relatif terhadap lempeng lainnya, yaitu kedua lempeng saling menjauhi (*divergent*), saling mendekati (*convergent*) dan saling geser (*transform*) (Kusky, 2008). Sketsa jenis pertemuan lempeng tektonik ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sketsa pergeseran lempeng tektonik (Thomson, 2006)

Umumnya gerakan lempeng berlangsung lambat dan tidak dapat dirasakan oleh manusia, namun terukur sebesar 0-15 cm/tahun. Terkadang, gerakan lempeng ini macet dan saling mengunci, sehingga terjadi pengumpulan energi yang berlangsung terus sampai pada suatu saat batuan pada lempeng tektonik tersebut tidak lagi kuat menahan gerakan sehingga terjadi pelepasan mendadak yang dikenal sebagai gempa bumi (BMKG, 2010).

Gempabumi berdasarkan kedalamannya dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu (Sonjaya, 2008) :

#### 1. Gempabumi Dangkal

Gempabumi dangkal adalah gempa bumi yang hiposenternya berada kurang dari 50 km dari permukaan bumi. Di Indonesia gempa bumi dangkal letaknya terpencar di sepanjang sesar aktif dan patahan aktif. Gempabumi dangkal menimbulkan kerusakan besar dan semakin dangkal tempat terjadinya gempa bumi maka daya rusaknya semakin besar.

## 2. Gempabumi Menengah

Gempabumi menengah adalah gempabumi yang hiposenternya berada antara 50 km - 300 km di bawah permukaan bumi. Di Indonesia gempabumi menengah terbentang sepanjang Sumatra sebelah barat, Jawa sebelah selatan, selanjutnya Nusa Tenggara antara Sumbawa dan Maluku, akhirnya sepanjang Teluk Tomini, Laut Maluku ke Filipina. Gempabumi menengah dengan fokus kurang dari 150 km di bawah permukaan masih dapat menimbulkan kerusakan.

## 3. Gempabumi Dalam

Gempabumi dalam adalah gempabumi yang hiposenternya berada lebih dari 300 km di bawah permukaan bumi. Di Indonesia gempabumi dalam berada di Laut Jawa, Laut Flores, Laut Banda dan Laut Sulawesi. Gempabumi dalam tidak membahayakan.

Besarnya intensitas atau kekuatan gempabumi diukur dengan suatu alat yang dinamakan seismograf dan data hasil catatan seismograf yang berupa grafik dinamakan seismogram. Besarnya intensitas gempa tergantung pada (Putri, 2012):

1. *Hypocenter*, yaitu tempat terjadinya gempa atau pergeseran tanah di dalam bumi.
2. *Epicenter*, yaitu titik yang diproyeksikan tepat berada di atas *hypocenter* pada permukaan bumi.
3. *Origin Time*, yaitu waktu mulai terjadinya pertemuan lempeng tektonik bumi saat pertama terjadinya gesekan.
4. Skala gempa, yaitu suatu ukuran kekuatan gempa yang dapat diukur secara kuantitatif dan kualitatif. Pengukuran gempa secara kuantitatif dilakukan dengan menggunakan skala Richter. Pengukuran gempa secara kualitatif yaitu dengan

melihat besarnya kerusakan yang diakibatkan oleh gempa. Deskripsi besarnya kerusakan gempa dengan skala MMI dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Skala intensitas gempa MMI (Wald, 1999)**

Skala	Deskripsi
I	Getaran gempa tidak terasa, hanya dapat dideteksi oleh alat.
II	Dapat dirasakan oleh beberapa orang. Benda-benda yang digantung dapat bergerak
III	Dirasakan lebih keras. Kendaraan atau benda lain yang berhenti dapat bergerak
IV	Dirasakan lebih keras baik di dalam bangunan atau di luar. Jendela dan pintu mulai bergetar
V	Dirasakan hampir oleh semua orang. Pigura di dinding mulai berjatuhan, jendela kaca pecah.
VI	Dirasakan oleh semua orang. Orang mulai ketakutan. Kerusakan ringan mulai nampak pada bangunan yang tidak kokoh.
VII	Setiap orang mulai lari ke luar. Bisa dirasakan di dalam kendaraan yang bergerak.
VIII	Sudah membahayakan bagi setiap orang. Terjadi kerusakan parah pada bangunan yang tidak kokoh
IX	Mulai dengan kepanikan. Sudah ada kerusakan yang parah bagi bangunan yang dibangun dengan baik.
X	Kepanikan lebih hebat, hanya gedung-gedung kuat dapat bertahan. Terjadi longsor dan rekahan.
XI	Hampir semua bangunan runtuh. Jembatan rusak. Retakan yang lebar di tanah.
XII	Kerusakan total. Gelombang terlihat di tanah. Benda-benda beterbangan.

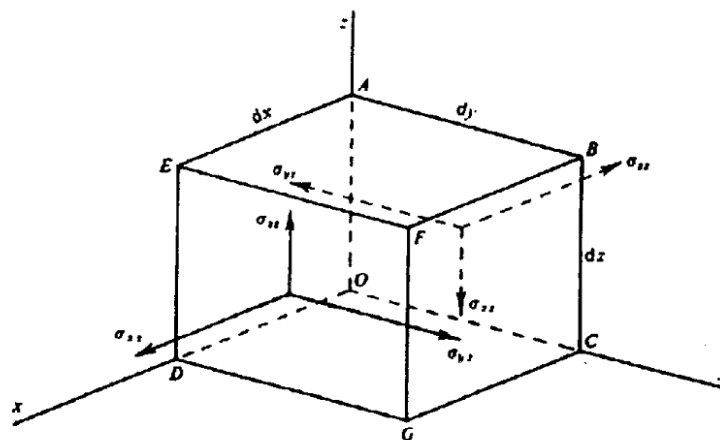
Klasifikasi besarnya kekuatan gempa secara kuantitatif menurut Hagiwara pada tahun 1964 berdasarkan magnitudonya terdiri atas:

1. Gempa sangat besar (*Great Earthquake*) :  $M > 8.0$
2. Gempa besar (*Major Earthquake*) :  $7.0 < M \leq 8.0$
3. Gempa Sedang (*Moderate Earthquake*) :  $5.0 < M \leq 7.0$
4. Gempa Kecil (*Small Earthquake*) :  $3.0 < M \leq 5.0$
5. Gempa Mikro (*Micro Earthquake*) :  $1.0 < M \leq 3.0$
6. Gempa Ultramikro (*Ultramicro Earthquake*) :  $M \leq 1.0$

## B. Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi. Perambatan gelombang ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik dapat ditimbulkan dengan dua metode yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif adalah metode pembangkitan gelombang seismik secara aktif atau disengaja menggunakan gangguan yang dibuat oleh manusia, biasanya digunakan untuk eksplorasi. Metode pasif adalah pembangkitan gelombang akibat gangguan yang terjadi secara alamiah, contohnya gempa. Gelombang seismik termasuk dalam gelombang elastik karena medium yang dilalui, yaitu bumi bersifat elastik. Oleh karena itu sifat penjalaran gelombang seismik bergantung pada elastisitas batuan yang dilewatinya. Adanya pergerakan dan gaya pada bumi menyebabkan batuan terdeformasi. Peristiwa deformasi ini berkaitan erat dengan konsep tegangan (*stress*), dan regangan (*strain*) (Telford *et al.*, 2004).

Persamaan gelombang seismik dapat didekati dengan meninjau komponen gaya-gaya tertentu yang bekerja pada sebuah medium homogen berupa kubus seperti yang ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Komponen-komponen tegangan (Telford *et al.*, 2004)

Tegangan (*stress*) ( $\sigma$ ) yang bekerja pada salah satu permukaan kubus tersebut mempunyai komponen-komponen sebagai berikut.

$$\sigma_{xx} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} dx; \quad \sigma_{yx} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} dx; \quad \sigma_{zx} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} dx \quad (1)$$

Komponen-komponen *stress* di atas disebut gaya tiap satuan volume benda pada bidang  $x$  yang memiliki arah pada sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Untuk kasus permukaan bidang lainnya, hubungan variabel gaya tiap satuan volumenya analog dengan bidang  $x$ . Total gaya pada sumbu  $x$  yang terjadi pada benda (medium) kubus adalah:

$$F = \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (2)$$

dengan  $dx dy dz$  merupakan satuan volume kubus. Sedangkan gaya menurut Hukum II Newton, gaya merupakan perkalian antara massa benda ( $m$ ) dan percepatannya ( $a$ ). Apabila dikaitkan dengan persamaan densitas benda yang merupakan pembagian antara massa benda dengan volume ( $\rho = m/V$ ) maka

$$F = ma = \rho Va = \rho(dx dy dz) \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) \quad (3)$$

Dengan menggunakan definisi gaya pada persamaan (3), persamaan (2) dapat diubah menjadi persamaan (4).

$$\begin{aligned} \rho(dx dy dz) \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) dx dy dz \\ \rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) &= \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

Hubungan pada persamaan (4) disebut sebagai persamaan gerak searah sumbu  $x$ . Dengan cara yang sama, dapat diperoleh persamaan gerak pada arah lainnya.

Hukum Hooke merumuskan hubungan antara tegangan (*stress*)  $\sigma$  dan regangan (*strain*)  $\varepsilon$  dalam bentuk (Telford *et al.*, 2004) :

$$\sigma_{ii} = \lambda' \Delta + 2\mu \varepsilon_{ii} , \quad i = x, y, z \quad (5)$$

$$\sigma_{ij} = \mu \varepsilon_{ij} , \quad i \neq j \quad (6)$$

dengan

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{xx} &= \frac{\partial u}{\partial x} \\ \varepsilon_{yy} &= \frac{\partial v}{\partial y} \\ \varepsilon_{zz} &= \frac{\partial w}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} &= \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \\ \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} &= \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \\ \varepsilon_{zx} = \varepsilon_{xz} &= \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$u, v, w$  menunjukkan komponen perpindahan partikel,  $\lambda'$  adalah konstanta Lamé,  $\mu$  merupakan hambatan regangan geser ( $N/m^2$ ), dan  $\Delta$  menunjukkan regangan volum atau dilatasi dengan definisi pada persamaan (9).

$$\Delta = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad (9)$$

Dengan menerapkan persamaan (5), (6), (7), (8) dan (9) maka persamaan (4) dapat diubah menjadi persamaan (10) :

$$\rho \left( \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \quad (10)$$

dengan  $\nabla^2 u = \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$ .

Dengan cara yang sama, maka persamaan (4) dapat diterapkan pada kasus pergerakan partikel searah sumbu  $y$  dan  $z$  sebagai berikut.

$$\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \quad (11)$$

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = (\lambda' + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \quad (12)$$

dengan  $u, v, w$  secara berurutan menunjukkan pergeseran partikel pada arah sumbu  $x$ , sumbu  $y$ , dan sumbu  $z$ .

Gelombang merambat pada suatu medium ke segala arah. Secara tiga dimensi gelombang dinyatakan dengan sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Untuk menentukan persamaan gelombang dilakukan diferensiasi pada persamaan (10), (11), dan (12) masing-masing terhadap  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ . Sehingga persamaan (10) menjadi persamaan (13):

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \right) &= (\lambda' + \mu) \left( \frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta}{\partial z^2} \right) + \\ &\quad \mu \nabla^2 \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \right) \\ \rho \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= (\lambda' + 2\mu) \nabla^2 \Delta \\ \frac{\rho}{(\lambda' + 2\mu)} \frac{\partial^2 \Delta}{\partial t^2} &= \nabla^2 \Delta \end{aligned} \quad (13)$$

Persamaan (13) merupakan persamaan gelombang longitudinal. Berdasarkan persamaan gelombang tersebut diperoleh kecepatan gelombang seismik longitudinal atau dikenal dengan kecepatan gelombang-P ( $v_p$ ) sebagai :

$$v_p = \left( \frac{\lambda' + 2\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

Untuk mendapatkan persamaan gelombang transversal atau gelombang seismik S, persamaan (10) didiferensialkan terhadap  $z$  dan persamaan (11) didiferensialkan terhadap  $y$ . Hasil pendiferensialan persamaan (10) dikurangi dengan hasil pendiferensialan persamaan (11) menghasilkan :

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \mu \nabla^2 \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (15)$$

Komponen regangan benda yang mengalami perpindahan secara rotasional didefinisikan pada persamaan (16) sebagai (Telford *et al.*, 2004) :

$$\theta_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} ; \quad \theta_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} ; \quad \theta_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (16)$$

Dengan menerapkan persamaan (16) pada persamaan (15), didapatkan persamaan :

$$\frac{\rho}{\mu} \frac{\partial^2 \theta_x}{\partial t^2} = \nabla^2 \theta_x \quad (17)$$

dengan  $\theta_x$  menyatakan gerakan rotasi tegak lurus terhadap sumbu  $x$ , sedangkan arah perambatan gelombangnya searah dengan sumbu  $x$ . Untuk kasus arah penjalaran gelombang searah sumbu  $y$  dan sumbu  $z$  digunakan cara yang sama, sehingga diperoleh persamaan :

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\theta_y) = \mu \nabla^2 (\theta_y) \quad (18)$$

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\theta_z) = \mu \nabla^2 (\theta_z) \quad (19)$$

Persamaan (17), (18), dan (19) menyatakan persamaan gelombang transversal. Dari persamaan (17) dapat diperoleh kecepatan gelombang transversal atau dikenal dengan kecepatan gelombang-S sebagai :

$$v_s = \left( \frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

Gelombang utama gempabumi terdiri dari dua tipe yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) (Kayal, 2008).

a. Gelombang Badan (*Body Wave*)

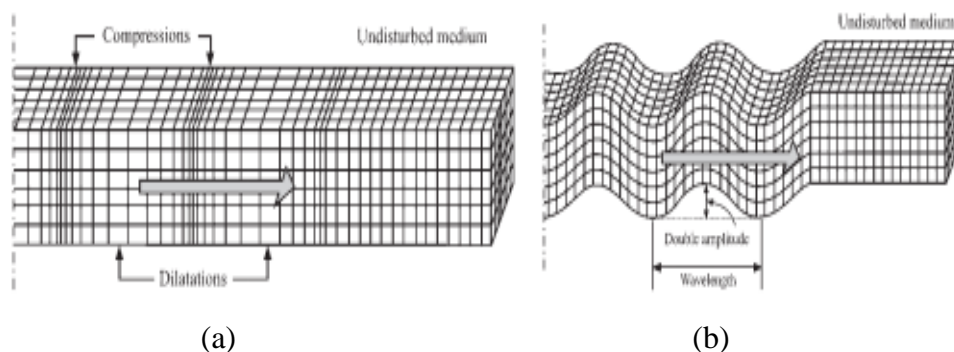
Gelombang badan merupakan gelombang yang menjalar melalui bagian dalam permukaan bumi dan biasa disebut *free wave* karena dapat menjalar ke segala arah di dalam bumi. Gelombang badan terdiri atas 2 macam yaitu :

### 1) Gelombang primer

Gelombang primer merupakan gelombang longitudinal, gerakan partikelnya sejajar dengan arah perambatannya. Gelombang primer (P) memiliki kecepatan paling tinggi di antara gelombang lainnya dan gelombang primer adalah gelombang yang pertama kali terdeteksi oleh seismograf. Kecepatan gelombang P antara 4-7 km/s di kerak bumi, lebih besar dari 8 km/s di dalam mantel dan inti bumi, lebih kurang 1,5 km/s di dalam air dan lebih kurang 0,3 km/s di udara (Braile, 2006). Persamaan dari kecepatan gelombang P ditunjukkan pada persamaan (14).

### 2) Gelombang sekunder

Gelombang sekunder merupakan gelombang transversal atau *shear wave*, hanya menjalar melalui medium padat. Gerakan partikel oleh penjalaran gelombang ini adalah tegak lurus dengan arah penjalaran gelombangnya (Waluyo, 2014). Kecepatan gelombang S adalah 3-4 km/s di kerak bumi, lebih besar dari 4,5 km/s di dalam mantel bumi, dan 2,5-3 km/s di dalam inti bumi (Braile, 2006). Ilustrasi gerak partikel gelombang primer dan gelombang sekunder ditunjukkan pada Gambar 5. Persamaan dari kecepatan gelombang sekunder ditunjukkan pada persamaan (20).



Gambar 5. (a) Ilustrasi gerak partikel gelombang primer; (b) Ilustrasi gerak partikel gelombang sekunder (Elnashai dan Luigi, 2008)

b. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan merupakan gelombang yang zona rambatannya berada di kerak bumi. Gelombang ini memiliki frekuensi yang lebih rendah dibandingkan dengan gelombang badan. Gelombang permukaan dibedakan menjadi dua, yaitu :

1) Gelombang Rayleigh (*R-wave*)

Gelombang Rayleigh adalah gelombang yang menjalar di permukaan bumi dengan pergerakan partikelnya menyerupai elips. Karena menjalar di permukaan, amplitudo gelombang Rayleigh akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Di dalam rekaman seismik, gelombang Rayleigh dicirikan dengan *amplitude* besar dan frekuensi rendah. Gelombang Rayleigh memiliki kecepatan 2 – 4,2 km/s. Arah rambatnya tegak lurus terhadap getaran dan searah bidang datar (Braile, 2006). Kecepatan gelombang Rayleigh dirumuskan sebagai (Elnashai, 2008) :

$$V_R \approx 0,92 V_S \quad (23)$$

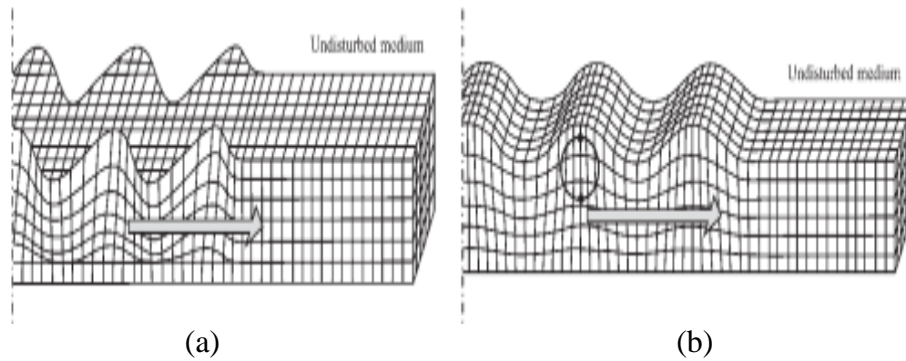
dengan  $V_R$  adalah kecepatan Rayleigh dan  $V_S$  adalah kecepatan gelombang S.

1) Gelombang Love (*L-wave*)

Gelombang Love adalah gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal yang merupakan gelombang S horizontal yang penjarannya paralel dengan permukaannya, kecepatan gelombang ini di permukaan bumi adalah 2 – 4,4 km/s (Braile, 2006). Gelombang Love lebih cepat daripada gelombang Rayleigh dan lebih dulu sampai pada seismograf. Kecepatan gelombang Love dinyatakan sebagai (Elnashai, 2008):

$$V_R < V_Q < V_S \text{ (km/s)} \quad (24)$$

dengan  $V_R$  adalah kecepatan gelombang Rayleigh,  $V_Q$  adalah kecepatan gelombang Love,  $V_S$  adalah kecepatan gelombang S. Ilustrasi gerak partikel gelombang Love dan Rayleigh ditunjukkan pada Gambar 6.

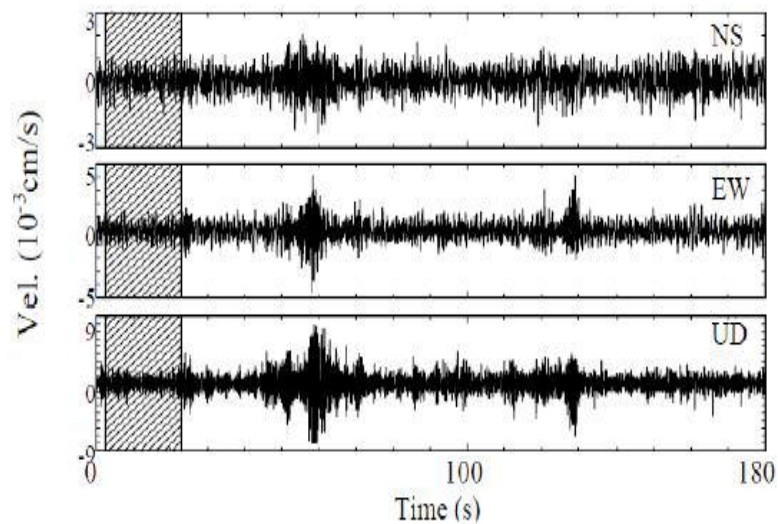


Gambar 6. (c) Ilustrasi gerak partikel gelombang Love; (d) Ilustrasi gerak partikel gelombang Rayleigh (Elnashai dan Luigi, 2008)

### C. Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti lalu lintas, angin, aktivitas manusia, dan lain-lain (Kanai, 1983). Mikrotremor yang juga dikenal sebagai getaran lingkungan (*ambient vibration*) berasal dari dua sumber utama yaitu alam dan manusia. Pada frekuensi rendah yaitu di bawah 1 Hz, sumber mikrotremor adalah alam. Gelombang laut menimbulkan *ambient vibration* dengan frekuensi sekitar 0,2 Hz sedangkan frekuensi sekitar 0,5 Hz dihasilkan oleh interaksi antara gelombang laut dan pantai. Untuk frekuensi di bawah 0,1 Hz, mikrotremor diasosiasikan dengan aktifitas di atmosfer. Pada frekuensi tinggi yaitu lebih dari 1 Hz, sumber utamanya adalah aktifitas manusia seperti lalu lintas kendaraan, mesin, dan lain-lain. Lokasi sumber biasanya berada di permukaan tanah dan bervariasi dengan adanya siang dan malam (SESAME, 2004).

Mikrotremor merupakan getaran tanah dengan *amplitude displacement* sekitar 0,1-1  $\mu\text{m}$  dan amplitudo kecepatan 0,001 cm/s sampai 0,01 cm/s. Mikrotremor diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan rentang periodenya. Jenis pertama adalah mikrotremor periode pendek dengan periode kurang dari 1 detik dan keadaan ini terkait dengan struktur bawah permukaan yang dangkal dengan ketebalan beberapa puluh meter. Jenis kedua adalah mikrotremor periode panjang dengan periode lebih dari 1 detik, keadaan ini terkait struktur tanah yang lebih dalam, menunjukkan dasar dari batuan keras (Mirzaoglu *et al.*, 2003). Data mikrotremor ditunjukkan pada Gambar 7.



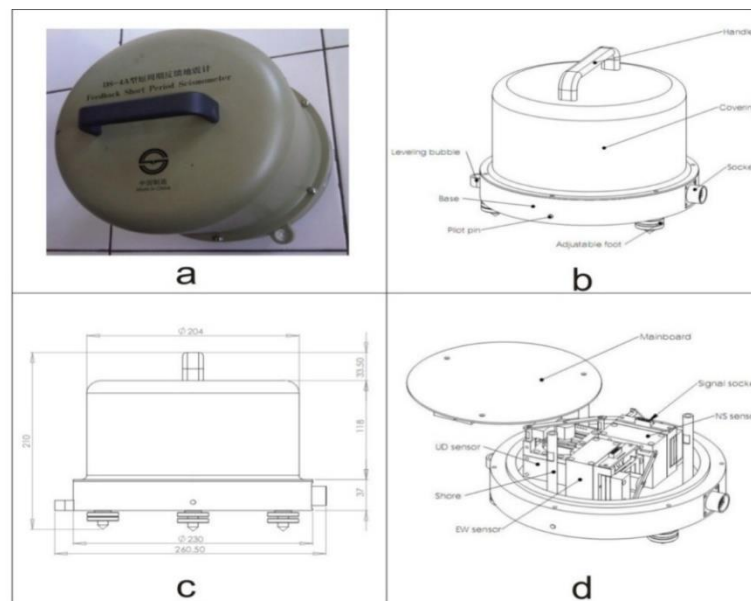
Gambar 7. Tampilan data mikrotremor pada perangkat lunak (Mirzaoglu *et al.*, 2003).

Data mikrotremor sangat bermanfaat untuk memprediksi ketebalan lapisan sedimen secara kualitatif, menyusun peta periode dominan, menyusun peta faktor amplifikasi, dan menyusun peta indeks kerentanan seismik. Data mikrotremor dapat dianalisis dengan menggunakan metoda HVSR. Dari penelitian mikrotremor, dapat diketahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter

frekuensi resonansi ( $f_0$ ), periode pre dominannya ( $T_0$ ), faktor penguatan gelombangnya ( $A_0$ ) dan indeks kerentanan tanahnya ( $K_g$ ).

#### D. Seismometer dan Seismograf

Seismometer merupakan sensor yang dapat merespon getaran tanah dan menangkap sinyal yang dapat direkam oleh seismograf. Seismometer memiliki tiga detektor yang dapat mendeteksi getaran tanah. Tiga detektor ini digunakan untuk mendeteksi getaran dari dalam tanah dan getaran lain di sekitar lokasi yang menyentuh tanah. Pada penelitian ini seismometer yang digunakan adalah seismometer dengan tipe TDV-23S. Seismometer tipe TDV-23S mendeteksi variabel kecepatan dari getaran tanah (TAIDE, 2010). Perangkat alat Seismometer ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. (a) Tampilan fisik seismometer tipe TDV-23S; (b) Konstruksi seismometertipe TDV-23S; (c) Dimensi seismometer tipe TDV-23S; (d) Struktur bagian dalam seismometer tipe TDV-23S (TAIDE, 2010)

Seismograf merupakan instrumen yang dapat mendeteksi dan mencatat pergerakan tanah atau getaran tanah akibat gempa bumi beserta informasi waktu

yang tepat. Seismograf terdiri dari seismometer, penunjuk waktu yang akurat, dan *digitizer* sinyal yang diperoleh dari seismometer. Hasil rekaman pergerakan tanah dari seismograf disebut seismogram. Pada penelitian ini seismograf yang digunakan adalah *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S. Gambar 9 menunjukkan bentuk fisik seismograf TDL-303S.



Gambar 9. Tampilan fisik *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S

#### **E. Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)**

HVSR (*Horizontal to Vertical Spectrum Ratio*) merupakan salah satu cara paling mudah dan paling murah untuk memahami sifat struktur lapisan bawah permukaan tanpa menyebabkan gangguan pada struktur permukaan tersebut. Metode HVSR dikemukakan pertama kali oleh Nogoshi dan Igarashi pada tahun 1971, dan secara meluas diperkenalkan oleh Nakamura (1989), sehingga metode ini dikenal juga dengan teknik Nakamura.

HVSR adalah metode yang didasarkan pada asumsi bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan. Hal itu juga menunjukkan bahwa karakteristik dinamis lapisan permukaan secara kasar bisa dipahami pada titik yang diobservasi, jika pengamatan bentuk gelombang

*seismic tremor* dilakukan pada tiga komponen, yaitu dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal (Nakamura, 1989).

Faktor amplifikasi gerakan horizontal dan vertikal pada permukaan tanah sedimen didasarkan pada gerakan seismik di permukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan yang dilambangkan dengan  $T_H$  dan  $T_V$  (Nakamura, 2000). Besarnya faktor amplifikasi horizontal  $T_H$  adalah :

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (25)$$

dengan  $S_{HS}$  adalah spektrum dari komponen gerak horizontal di permukaan tanah dan  $S_{HB}$  adalah spektrum dari komponen gerak horizontal pada dasar lapisan tanah. Besarnya faktor amplifikasi vertikal  $T_V$  adalah :

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (26)$$

dengan  $S_{VS}$  adalah spektrum dari komponen gerak vertikal di permukaan tanah dan  $S_{VB}$  adalah spektrum dari komponen gerak vertikal pada dasar lapisan tanah.

Data mikrotremor tersusun atas beberapa jenis gelombang, tetapi yang utama adalah gelombang *Rayleigh* yang merambat pada lapisan sedimen di atas batuan dasar. Pengaruh dari gelombang *Rayleigh* pada rekaman mikrotremor besarnya sama untuk komponen vertikal dan horizontal saat rentang frekuensi 0,2 Hz - 20,0 Hz, sehingga rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati :

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \quad (27)$$

Karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu, maka gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah

akibat efek dari gelombang *Rayleigh* dapat dihilangkan, sehingga hanya ada pengaruh yang disebabkan oleh struktur geologi lokal atau *site effect* ( $T_{SITE}$ ).  $T_{SITE}$  menunjukkan puncak amplifikasi pada frekuensi dasar dari suatu lokasi (Slob, 2007). Berdasarkan persamaan (25), (26), dan (27) didapatkan besarnya  $T_{SITE}$  sebagai :

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (28)$$

sehingga

$$HVSr = T_{SITE} = \frac{\sqrt{[(S_{North-South})^2 + (S_{East-West})^2]}}{S_{VS}} \quad (29)$$

Persamaan (29) menjadi dasar perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya atau *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr).

## F. Time-Frequency Analysis (TFA)

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

Transformasi Fourier merupakan algoritma matematika yang dapat mengubah sinyal pada domain waktu menjadi domain frekuensi. Jika sinyal seismik ditransformasikan ke dalam domain frekuensi dengan persamaan Fourier, akan diberikan seluruh informasi dari frekuensi yang terdapat di dalam sinyal tersebut. Dalam analisis spektrum sinyal, sinyal akan tersegmentasi menjadi jendela waktu

yang kecil (*windowing*), hal ini dikarenakan sinyal seismik terdiri dari berbagai macam gelombang yang berasal dari banyak reflektor. Kemudian dengan mengubah segmen tersebut menjadi domain frekuensi, maka dapat diperoleh informasi mengenai frekuensi lokal dari sebuah sinyal di sepanjang waktu tersebut. Pendekatan seperti ini disebut dengan *Short Time Fourier Transform* (STFT).

Keterbatasan STFT yaitu kesulitan dalam penentuan jendela (*window*) yang optimal. Hal ini dikarenakan untuk mendapatkan resolusi yang baik dalam kawasan waktu diperlukan *window* berdurasi pendek agar asumsi sinyal stasioner semakin baik yang berakibat rendahnya resolusi frekuensi, demikian juga sebaliknya. Untuk mengatasi keterbatasan hal tersebut, diperlukan suatu analisis multiresolusi dengan dimensi *window* waktu-frekuensi yang berubah-ubah walaupun dimensi luasnya tetap. Analisis ini dapat menghasilkan resolusi frekuensi yang tinggi dan resolusi waktu yang rendah pada frekuensi rendah, dan berlaku sebaliknya untuk frekuensi tinggi. Hal ini bersesuaian dengan sinyal seismik yang umumnya memiliki komponen frekuensi tinggi dalam durasi pendek. Analisis multiresolusi dilakukan menggunakan suatu fungsi yang mampu bertranslasi dan berdilatasi, kemampuan fungsi tersebut dapat dipenuhi oleh *wavelet* (Kumar, 1994).

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

$$\psi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} \exp\left(\left(-i\omega_0 t - \exp\left(\frac{\omega_0^2}{2}\right)\right)\right) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \quad (30)$$

Biasanya didekati dengan:

$$\psi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} \exp(-i\omega_0 t) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \quad \text{untuk } \omega_0 \geq 5 \quad (31)$$

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

## G. Seismisitas

Seismisitas adalah aktivitas gempabumi dalam kurun waktu tertentu di suatu daerah. Seismisitas merupakan ukuran untuk membandingkan aktivitas seismik suatu wilayah dengan wilayah lainnya. Distribusi pola aktivitas kegempaan berdasarkan analisis hubungan frekuensi magnitudo dapat diperoleh dengan menggambarkan pola sebaran parameter-parameter nilai seismisitas *a* dan *b* serta periode ulangnya.

Berdasarkan data sejarah kegempaan Jawa, daerah Yogyakarta sudah beberapa kali mengalami gempa bumi merusak, yaitu pada tahun 1840 (terjadi tsunami), 1859 (terjadi tsunami), 1867 (5 orang tewas, 372 rumah roboh), 1875 (skala intensitas mencapai V-VII MMI, terjadi kerusakan ringan di Bantul), 1937 (skala intensitas mencapai VII-IX MMI, 2.200 rumah roboh), 1943 (250 orang tewas, 28.000 rumah roboh), 1957 (skala intensitas mencapai VI MMI), 1981 (skala intensitas mencapai VII MMI, terjadi kerusakan ringan di Bantul), 1992 (skala intensitas mencapai V MMI), 2001 (skala intensitas mencapai V MMI), 2004 (skala intensitas mencapai V MMI) dan 2006 (6.000 orang tewas, lebih dari 1.000.000 rumah rusak berat) (Daryono, 2009).

Dalam kaitan dengan kepentingan manusia, studi dan analisis kegempaan ini diharapkan dapat memberikan informasi penting dalam usaha penyelamatan jiwa

dan penanggulangan bahaya yang ditimbulkan akibat gempa bumi (BNPB, 2008). Relasi antara frekuensi dan magnitudo oleh Gutenberg-Richter dinyatakan dalam suatu hubungan sebagai (Aki, 1965):

$$\log N = a - bM \quad (32)$$

dengan  $N$  adalah jumlah gempa bumi dengan magnitudo  $M$ . Nilai  $a$  merupakan konstanta parameter seismik yang bergantung pada periode pengamatan dan tingkat kegempaan suatu wilayah dan nilai  $b$  adalah konstanta parameter tektonik yang bergantung pada karakter tektonik dan tingkat *stress* atau struktur material suatu wilayah.

Nilai  $b$  dapat diperkirakan dengan cara statistik, salah satunya yang dikemukakan oleh Utsu (1965) yang dikenal dengan metode estimasi *maximum likelihood* dengan persamaan:

$$b = \frac{\log(e)}{M - M_{min}} \quad (33)$$

dimana  $M$  adalah *magnitude* rata-rata dan  $M_{min}$  adalah *magnitude* minimum dan  $\log(e)$  bernilai 0,4343

## H. Geologi Wilayah Penelitian

Daerah penelitian terletak di sepanjang jalur Sesar Opak dari bagian selatan hingga ke utara membentuk jajaran genjang sepanjang daerah Bantul hingga Klaten. Sesar Opak merupakan sesar utama yang terletak di daerah Yogyakarta. Berdasarkan peta geologi lembar Yogyakarta oleh Raharjo dkk. (1995), terlihat bahwa struktur geologi utama berupa sesar berarah timur laut – barat daya yang merupakan jalur Sesar Opak (ESDM, 2016). Sesar Opak berada pada berbagai macam susunan formasi geologi yang dapat berpengaruh pada kerusakan wilayah

jika terjadi gempa bumi. Formasi merupakan suatu susunan batuan yang terdiri atas berbagai macam jenis batuan yang terletak di bawah permukaan bumi. Sesar Opak daerah penelitian memiliki lima formasi geologi yaitu:

a. Aluvium (Qa)

Aluvium berumur Holosen dijumpai di daerah Ponjong, sebelah timur Wonosari dan sebelah barat laut Bantul yang tersusun dari bahan endapan lempung, lumpur, lanau, pasir, kerikil, kerakal, dan berangkal (Pemda DIY, 2016).

b. Formasi Gunung Merapi Muda (Qvm)

Formasi ini tersusun dari breksi vulkanik, lava, dan tuf sebagai hasil endapan lahar Gunung Merapi yang masih aktif. Aktivitas Gunungapi diperkirakan mulai Plestosen Akhir, terdapat di daerah Sleman (Pemda DIY, 2016).

c. Formasi Wonosari – Punung (Tmwl)

Formasi Wonosari – Punung berumur Miosen Tengah sampai Pliosen, penyebarannya dari Wonosari ke arah selatan. Formasi ini tersusun dari batu gamping konglomeratan, batu pasir, tuf, dan batu lanau (Pemda DIY, 2016).

d. Formasi Semilir (Tms)

Formasi Semilir berumur Miosen Awal sampai Awal Miosen Tengah, penyebarannya di sekitar Wonosari, Imogiri, Karangmojo, dan Semin. Formasi ini terdiri dari tuf, breksi batuapung dasitan, batu pasir tufaan, dan serpih perselingan antara breksi tuf, breksi batuapung, tufa dasit, tufa andesit, serta batulempung tufaan (Pemda DIY, 2016).

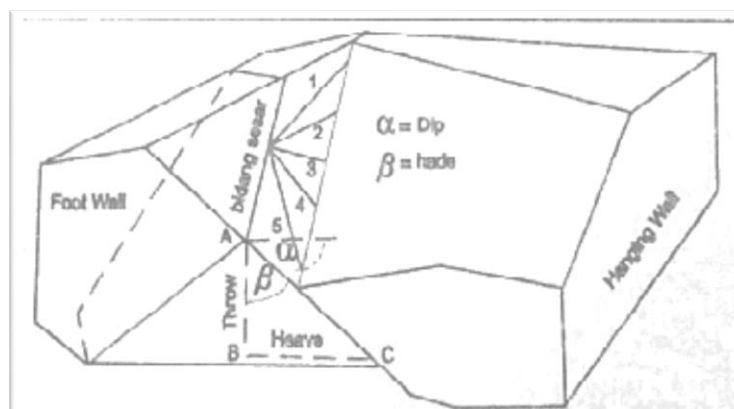
e. Formasi Nglanggran

Formasi Nglanggran tersusun oleh perselingan breksi lapili, batupasir, tuf, dan breksi andesit. Penyebarannya di daerah Panggang dan Gunungkidul bagian barat laut.

## I. Sesar

### 1). Macam – Macam Sesar

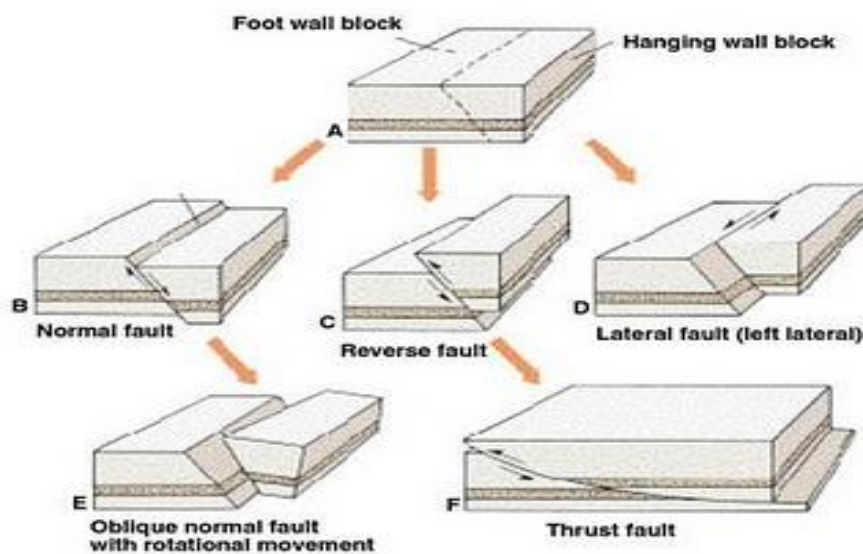
Sesar atau patahan merupakan zona rekahan akibat pertemuan blok di lapisan kerak bumi di mana blok tersebut saling bergerak relatif satu sama lain terhadap arah rekahan (USGS, 2010). Komponen sesar terdiri dari (1) *Slip*, yaitu jarak pergerakan relatif salah satu sisi terhadap sisi lainnya, (2) *Throw*, komponen vertikal pada bidang separasi sesar, (3) *Heave*, komponen horizontal pada bidang sesar, (4) *Dip*, merupakan sudut antara bidang permukaan sesar dengan bidang horizontal, (5) *Hade*, sudut antar bidang permukaan sesar dengan komponen vertikal, (6) *Trace sesar*, merupakan garis sesar pada suatu permukaan (Sheriff, 1995). Komponen sesar ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Struktur sesar (Anderson, 1951)

Berdasarkan pergerakannya, sesar dapat dikelompokkan menjadi 3 macam yaitu, pertama sesar yang pergerakannya dominan ke arah vertikal yang

biasa disebut sesar normal atau sesar turun (*Normal Fault*). Disebut sesar turun karena pada satuan blok batuan bergerak relatif turun terhadap blok lainnya. Kedua, sesar geser (*Slip Fault*) yang arah gerakannya dominan ke arah horizontal. Ketiga, sesar naik (*Reverse Fault*) atau bisa juga disebut patahan turun. Salah satu ciri dari patahan ini yaitu mempunyai sudut kemiringan kecil kurang dari 45°. Gambaran permukaan tentang komponen sesar tersebut seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Macam-macam jenis sesar (Anderson, 1951)

## 2) Sesar Opak

Salah satu sesar yang masih aktif di Yogyakarta adalah Sesar Opak. Sesar Opak berdasarkan pemetaan geologi terletak sepanjang jalur selatan di daerah Bantul sampai utara di daerah Klaten. Patahan ini paling mudah dimengerti karena morfologi serta topografi yang membatasi tinggian Wonosari dengan Yogyakarta yang berada pada daerah dataran rendah. Lokasi Sesar Opak menurut metode *gravity* diperkirakan berada di sebelah timur Sesar Opak yang ditunjukkan oleh peta geologi lembar Yogyakarta (Irham dkk., 2011). Menurut Ira Maya (2014) Sesar Opak merupakan sesar normal atau sesar turun dengan bagian barat mengalami

penurunan sedangkan bagian timur cenderung tetap dengan arah N 35° E dan berada di sebelah barat sungai Opak.

Diperkirakan beberapa gempabumi yang terjadi di Daerah Istimewa Yogyakarta berpusat pada kawasan Sesar Opak. Banyak kasus gempabumi menunjukkan bahwa tingkat kerusakan yang ditimbulkan suatu gempabumi sangat bergantung pada kondisi topografi dan geologi permukaan. Salah satu metode yang digunakan untuk pemetaan daerah rawan kerusakan akibat gempabumi (*seismic microzonation*) adalah metode yang memanfaatkan survei mikrotremor untuk melihat pengaruh adanya *site effect* dan *soft soil* terhadap bangunan di suatu daerah (Irjan dan Bukhori, 2011).

#### **J. Kerangka Berpikir**

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah transformasi wavelet Morlet *Time Frequency Analysis* (TFA) yang diaplikasikan pada *Sessaray Geopsy*. Dalam pengolahan sinyal mikrotremor dilakukan pemotongan sinyal frekuensi dalam waktu tertentu. Analisis tersebut dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik mikrotremor di sekitar kawasan Sesar Opak dengan bentuk citra skalogram.

Selain TFA, karakteristik mikrotremor juga dapat dianalisis menggunakan kurva spektrum pada *Sessaray Geopsy*. Setelah diketahui karakteristik mikrotremor dari citra TFA dan kurva spektrum kemudian dikorelasikan dengan data bor. Pada analisis seismisitas diperlukan besarnya *b-value* yang dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (25). Setelah *b-value* diketahui kemudian dibuat peta pemodelan untuk mengetahui nilai seismisitas.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2015 hingga bulan November 2016. Pengambilan data penelitian dilaksanakan pada tanggal 22 - 26 Januari 2016 dari pukul 06.00 sampai dengan 17.00 WIB. Sebelum dilakukan pengambilan data penelitian, telah dilakukan studi pustaka dan diskusi yang dimulai pada awal bulan Oktober 2015. Pengumpulan data primer dilakukan dengan pengukuran menggunakan metode mikrotremor secara langsung sepanjang kawasan jalur Sesar Opak sebanyak 39 titik lokasi dengan jarak antar titik sejauh 2 km. Data sekunder yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) sebanyak 47 titik dan tersebar di sekitar Kecamatan Jetis, Kecamatan Pundong, Kecamatan Kretek, dan Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul, Kota Yogyakarta. Data yang digunakan dalam studi ini berupa data mikrotremor dengan koordinat geografis 423986 – 448441,7 mT dan 9122313,1 – 9142269 mU.

#### **B. Instrumen Penelitian**

Instrumen yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras.

##### **1. Perangkat Lunak**

Perangkat lunak merupakan perangkat yang berhubungan dengan penggunaan aplikasi komputer. Perangkat lunak yang digunakan adalah:

- a. *Global Mapper* 13 untuk memasukkan koordinat pengambilan data ke perangkat GPS.

- b. *Google Earth* untuk mengetahui lokasi titik pengambilan data penelitian dan survei lokasi untuk mengetahui kondisi lapangan.
- c. *Geopsy* untuk melakukan *Time Frequency Analysis* (TFA) terhadap sinyal mikrotremor.
- d. *Surfer 10* digunakan untuk membuat kontur pemodelan.
- e. *Microsoft Excel 2013* untuk mengolah data gempa.
- f. *ArcGis* untuk membuat *grid* data gempa yang terjadi.

## 2. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

- a. *Digitizer* tipe TDL-303S untuk merekam sinyal getaran tanah yang diperoleh dari seismometer.
- b. Seismometer tipe TDV-23S untuk mengukur getaran tanah pada setiap titik penelitian.
- c. *Global Positioning System* (GPS) merk Garmin sebagai pemandu dalam menemukan lokasi titik penelitian.
- d. Antena GPS yang terhubung dengan *Digital Portable Seismograph* yang akan menangkap sinyal data lokasi dan waktu dari satelit.
- e. Kompas yang digunakan untuk menentukan arah seismometer pada saat pengambilan data.
- f. Laptop digunakan untuk akuisisi dan analisis sinyal mikrotremor.
- g. Kabel penghubung antara sensor dan seismograf.

Peralatan mikrotremor tersebut ditunjukkan pada Gambar 12.



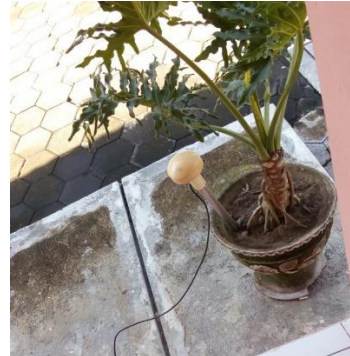
Seimograf dan kabel penghubung



Digitizer dan laptop



Kompas

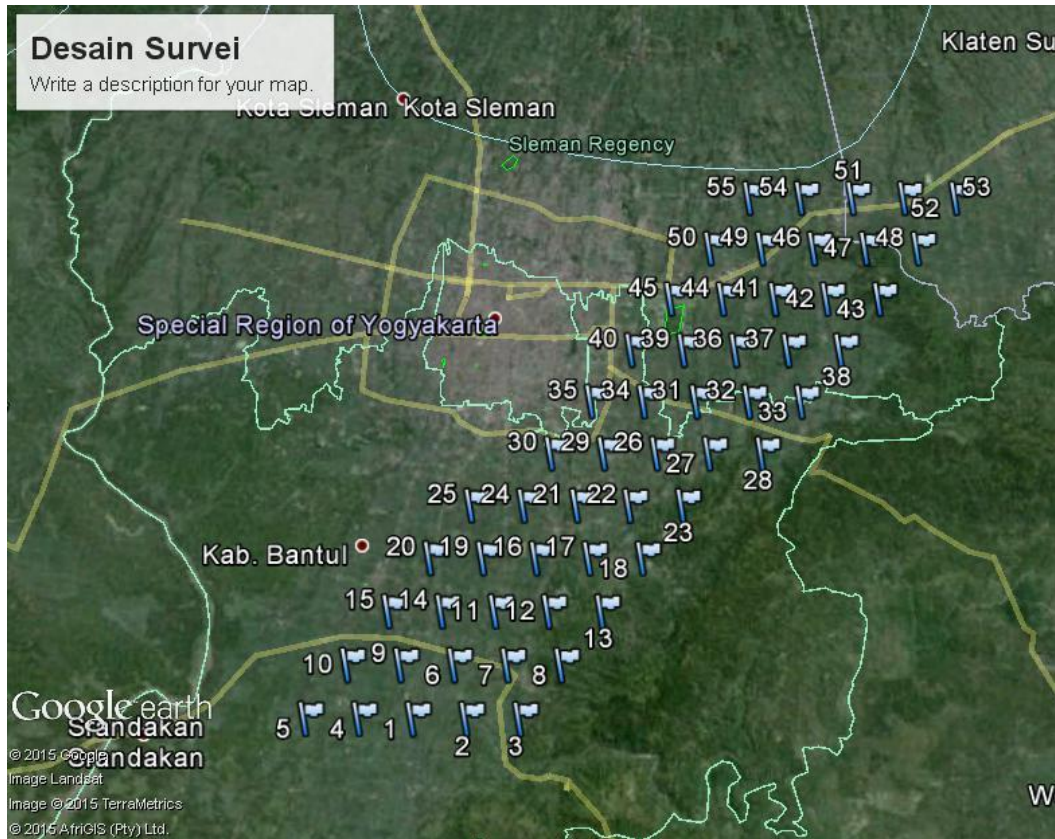


Antena GPS

Gambar 12. Perangkat Keras Pengukuran Mikrotremor

### C. Teknik Pengambilan Data

Proses pengambilan data terbagi menjadi dua tahap yaitu tahap desain survei dan tahap desain penelitian. Pada tahap desain survei, lokasi titik pengambilan data mikrotremor berada di sekitar Sesar Opak. Interval antar titik sebesar 2 km di sepanjang kawasan jalur Sesar Opak dilakukan dengan menggunakan metode *grid* sehingga didapatkan 55 titik data survei pra lapangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Peta lokasi desain survei pra lapangan

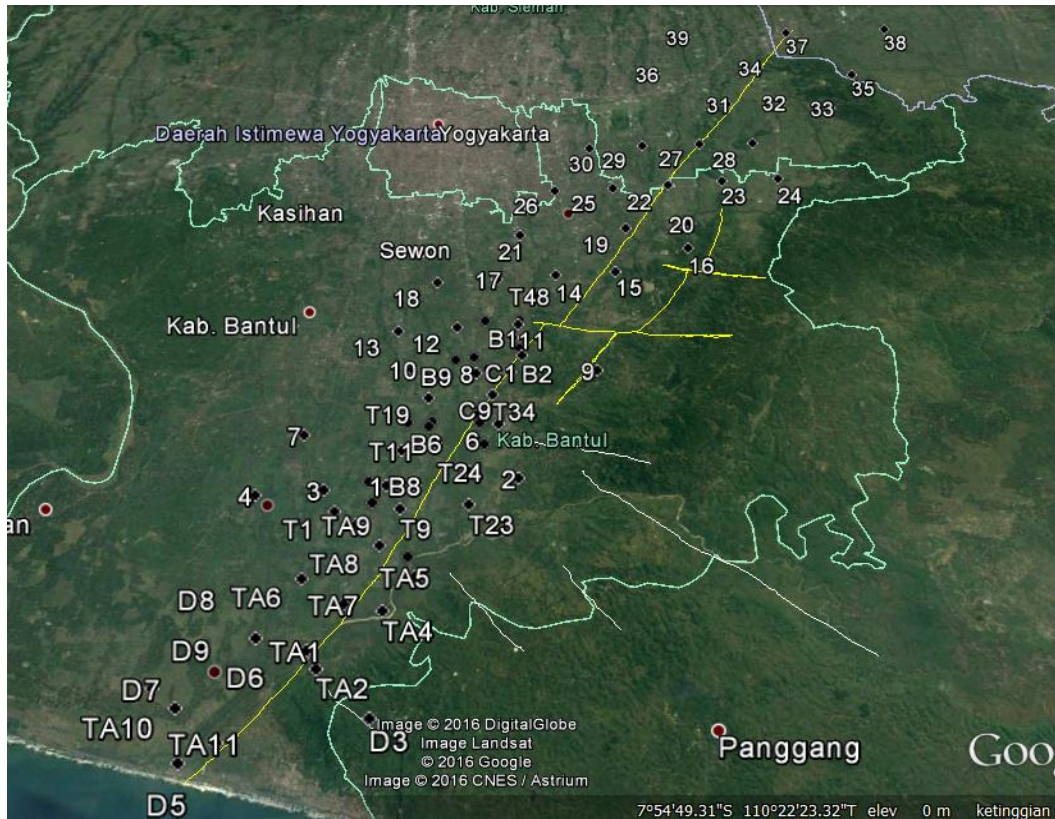
Setelah desain survei selesai ditentukan, selanjutnya dilakukan survei lokasi pengambilan data mikrotremor. Survei lokasi dilakukan untuk mengetahui keadaan lokasi dan medan yang harus dilalui pada saat pengambilan data sehingga dapat menentukan efektivitas waktu pada saat pengambilan data. Beberapa persyaratan pengukuran serta teknis pemilihan lokasi dan teknik pengambilan data mikrotremor ditunjukkan pada Tabel 2.

Dengan menggunakan acuan yang ada pada tabel, terdapat beberapa titik survei lapangan yang dieliminasi sehingga pengambilan data mikrotremor dilakukan pada 39 titik. Titik pengambilan data penelitian mengalami pergeseran dari titik-titik yang telah ditentukan ketika survei lapangan, hal ini dikarenakan kondisi lapangan

yang berada tepat dengan bangunan rumah, di tengah sungai, di dalam jurang dan di atas bukit terjal. Peta lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 14.

**Tabel 2. Syarat Pengukuran Mikrotremor (SESAME, 2004)**

Jenis parameter	Saran yang dianjurkan	
	<i>f<sub>g</sub></i> minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
Durasi pencatatan	0.2	30
	0.5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
<i>Coupling soil-sensor</i> alami (in situ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atur sensor langsung pada permukaan tanah</li> <li>• Hindari menempatkan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan.</li> </ul>	
<i>Coupling soil-sensor</i> buatan atau artifisial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet atau busa.</li> <li>• Pada kemiringan yang curam di mana sulit mendapatkan level sensor yang baik, pasang sensor dalam timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir.</li> </ul>	
Keberadaan bangunan atau pohon	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi, jika tiupan angin di atas <math>\pm 5</math> m/detik. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisa HVSR.</li> <li>• Hindari pengukuran di lokasi tempat parkir, pipa air dan gorong-gorong.</li> </ul>	
Kondisi Cuaca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Angin : Lindungi sensor dari angin (lebih cepat dari 5 m/s).</li> <li>• Hujan : Hindari pengukuran pada saat hujan lebat. Hujan ringan tidak memberikan gangguan berarti.</li> <li>• Suhu : Mengecek kondisi sensor dan mengikuti instruksi pabrik.</li> </ul>	
Gangguan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sumber monokromatik : hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, generator yang sedang beroperasi.</li> <li>• Sumber sementara : jika terdapat sumber getar <i>transient</i> (jejak langkah kaki, mobil lewat, motor lewat) tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan tersebut hilang.</li> </ul>	



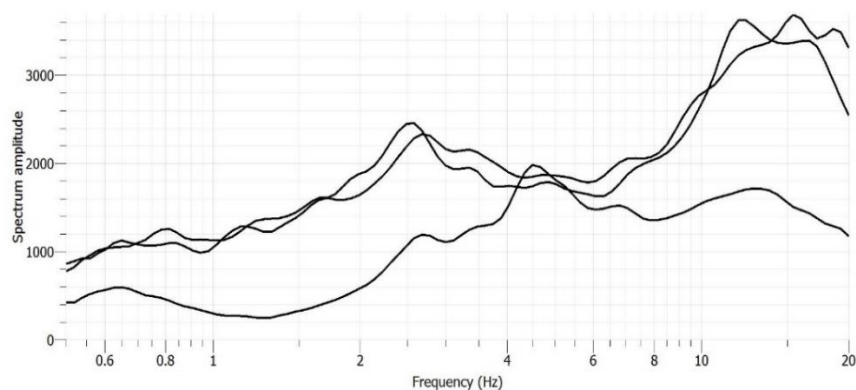
Gambar 14. Peta lokasi data penelitian

Pengambilan data mikrotremor dilakukan selama 30 menit pada setiap titik lokasi penelitian dengan frekuensi *sampling* sebesar 100 Hz. Data hasil pengukuran tersimpan secara otomatis dalam penyimpanan *digitizer*. Pemindahan data pengukuran dari *digitizer* ke laptop dengan cara *download* dalam bentuk data numerik atau biasa disebut data mentah mikrotremor. Data mikrotremor hasil pengukuran merupakan data mentah getaran tanah dalam fungsi waktu. Data tersusun atas tiga komponen, yaitu komponen vertikal (*Up and Down*), horizontal *North-South*, dan horizontal *East-West*.

#### D. Teknik Analisis Data

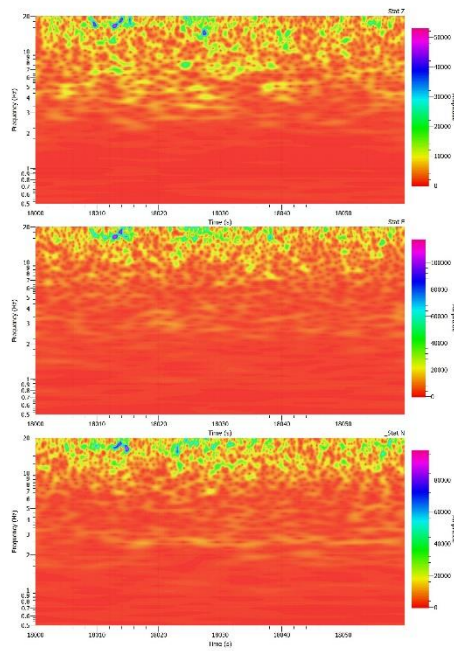
Data hasil pengukuran merupakan data mentah mikrotremor yang berupa sinyal getaran tanah yang berdomain waktu dengan jumlah minimal 10 *window* pada

setiap titik penelitian yang dianalisis menggunakan *Sesarray Geopsy*. Terdapat tiga komponen sinyal mikrotremor yaitu komponen horizontal *North-South* (NS), komponen horizontal *East-West* (EW), dan yang terakhir komponen Vertikal (V). Analisis mikrotremor dilakukan dengan menggunakan kurva spektrum gelombang mikroseismik yang diolah menggunakan perangkat lunak *Sesarray Geopsy*. Kurva spektrum menunjukkan karakteristik pada suatu tempat berdasarkan komponen horizontal dan vertikal dari hasil pengolahan menggunakan analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) pada *Sesarray Geopsy*. Kurva spektrum menunjukkan adanya hubungan antara amplitudo dan frekuensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.



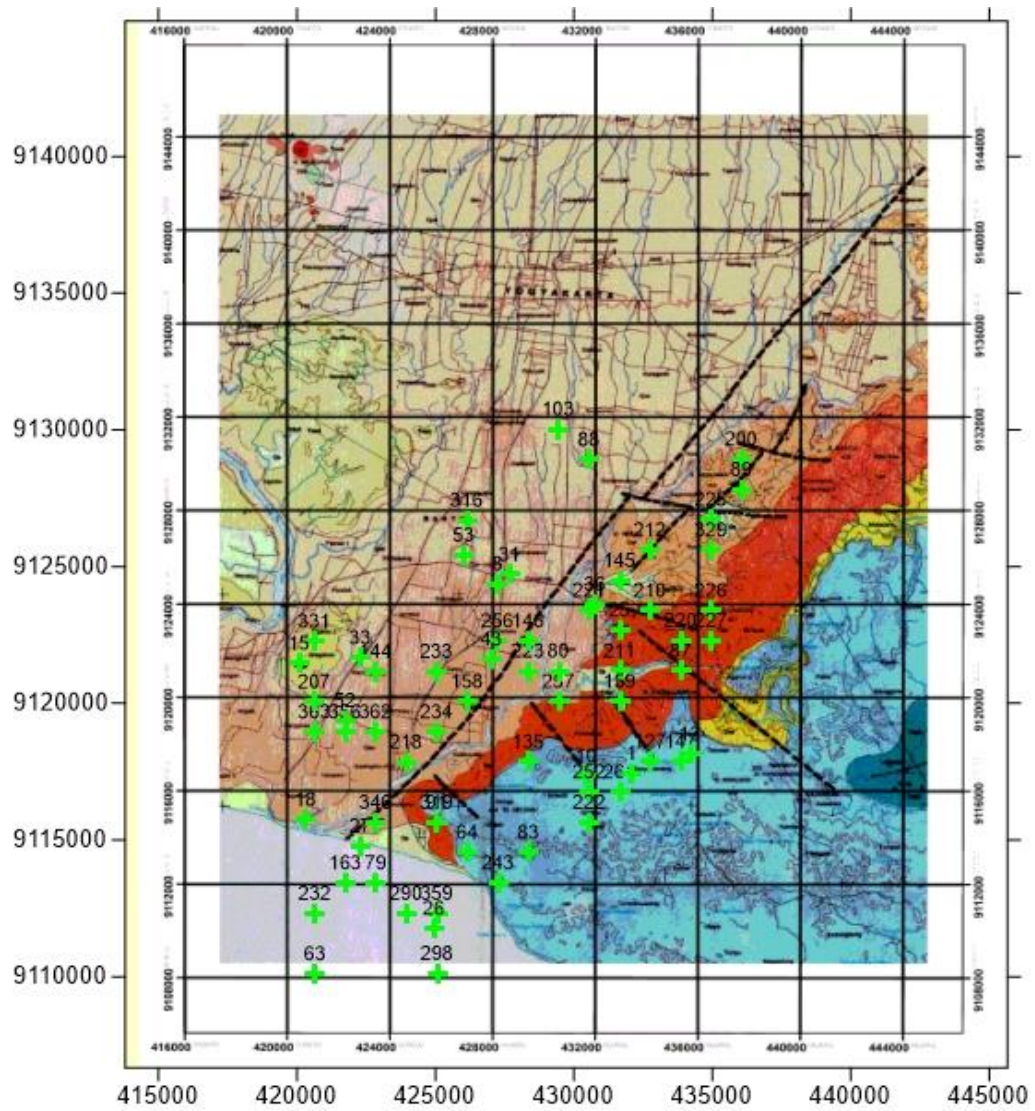
Gambar 15. Kurva spektrum

Analisis karakteristik mikrotremor dapat dilakukan menggunakan TFA (*Time Frequency Analysis*) yang ditunjukkan pada Gambar 16. Analisa citra TFA menggunakan transformasi *wavelet Morlet* pada persamaan (31). *Wavelet* digunakan dalam pemrosesan sinyal untuk dapat mengeplot setiap bagian sinyal yang akan dianalisis dalam rentang waktu tertentu. Analisis ini diperlukan untuk mengetahui distribusi frekuensi terhadap waktu dan amplitudo setiap komponen.



Gambar 16. Citra *Time Frequency Analysis* (TFA)

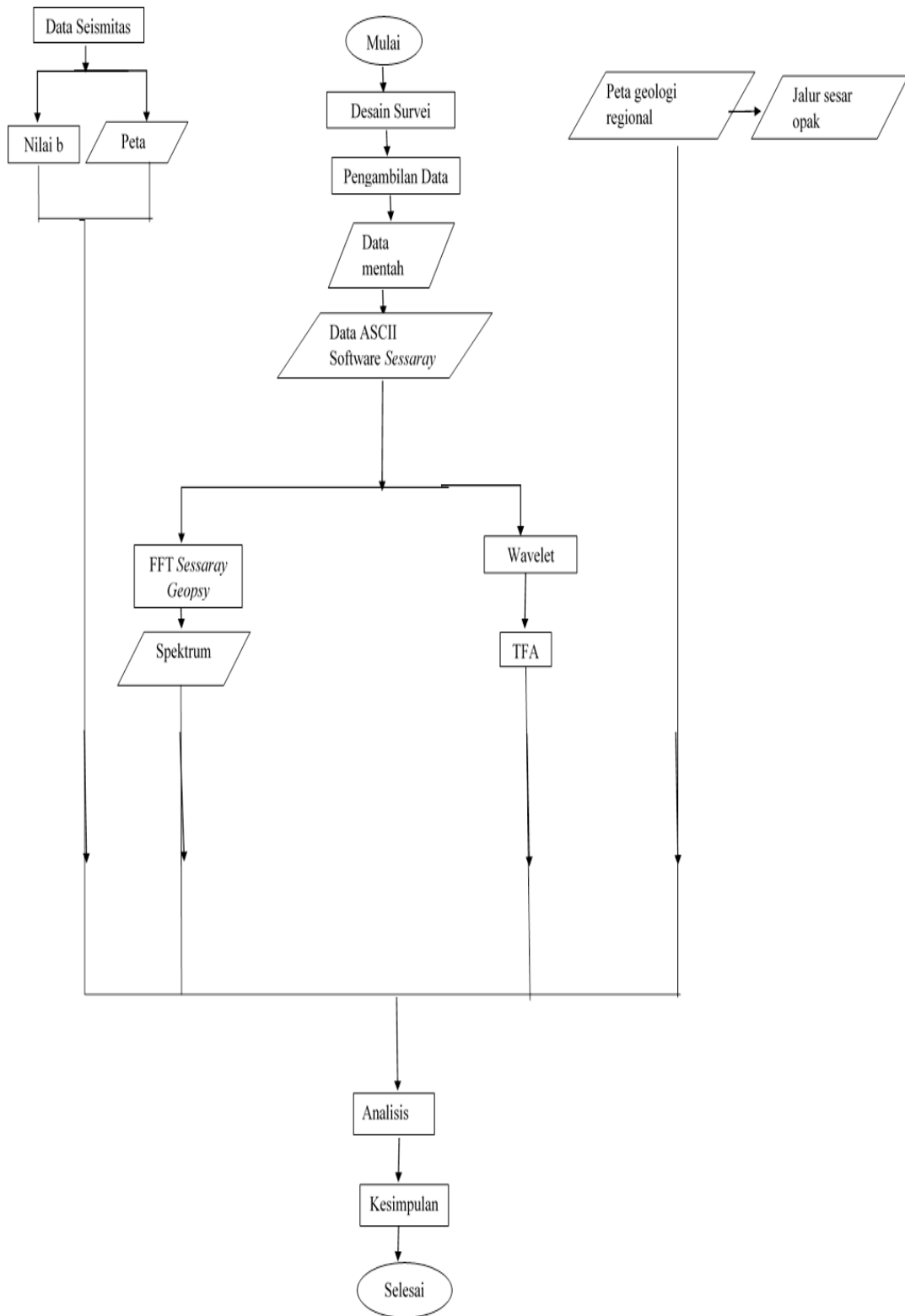
Metode pengolahan data selain menggunakan data mikrotremor juga menggunakan data gempabumi yang memiliki parameter berupa *magnitude* gempa, pusat gempa maupun kedalaman yang didapatkan melalui data gempabumi dari BMKG. Setelah didapatkan data gempabumi kemudian dilakukan pemilihan data gempabumi yang berada di sekitar titik data penelitian dan dibuat *grid* data menggunakan *ArcMap* dengan jarak 4 km untuk mengelompokkan nilai *magnitude* yang berbeda-beda menjadi beberapa zona. Pada daerah penelitian didapatkan 20 zona dengan masing-masing zona dihitung *b-value* nya dengan menggunakan metode *Maximum Likelihood* pada persamaan (33), dan didapatkan peta pemodelan *b-value* menggunakan *surfer10*. Pengelompokan data *magnitude* gempa bumi pada daerah penelitian untuk mengetahui *b-value* ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Pengambilan data *magnitude* sekitar daerah penelitian

### E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 18.



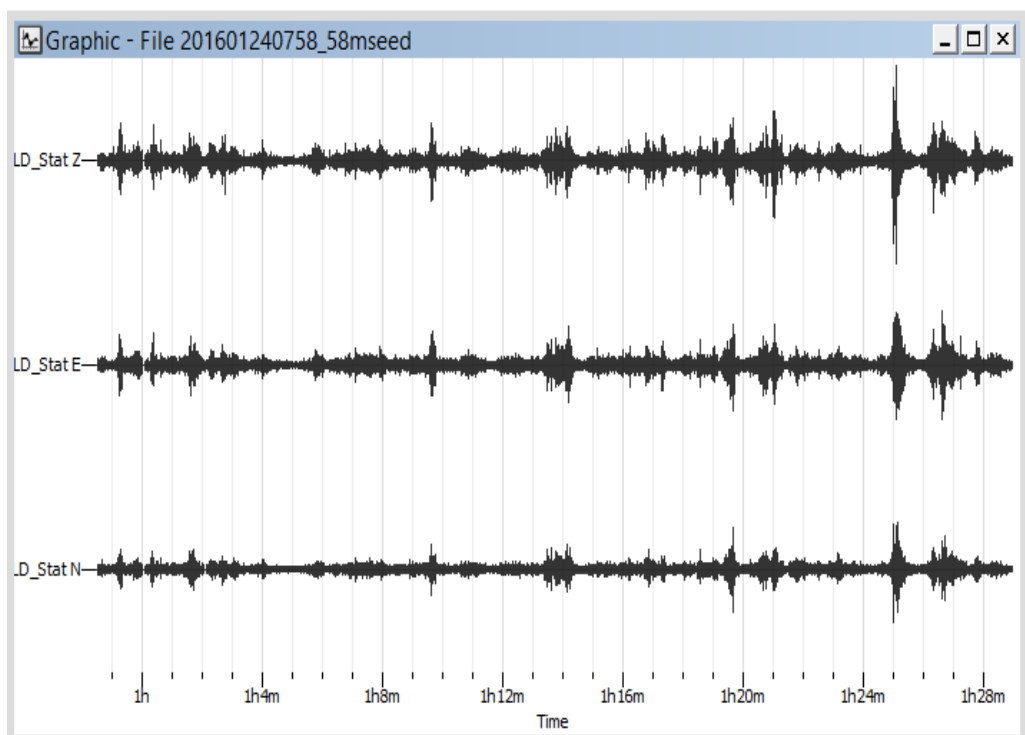
Gambar 18. Diagram alir penelitian

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Karakteristik mikrotremor di kawasan Sesar Opak

Mikrotremor merupakan *ambient vibration* yang merambat melalui lapisan batuan yang berada di bawah permukaan tanah, sehingga spektrum yang dihasilkan oleh gelombang seismik dapat menggambarkan karakteristik suatu wilayah. Sinyal mikrotremor merambat melewati batuan dalam bentuk gelombang elastis yang mentransfer energi menjadi pergerakan partikel batuan sehingga karakteristik mikrotremor tergantung pada jenis formasi yang tersusun dari berbagai macam batuan yang terdapat di sekitar lokasi penelitian. Contoh sinyal mikrotremor pada daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 19.



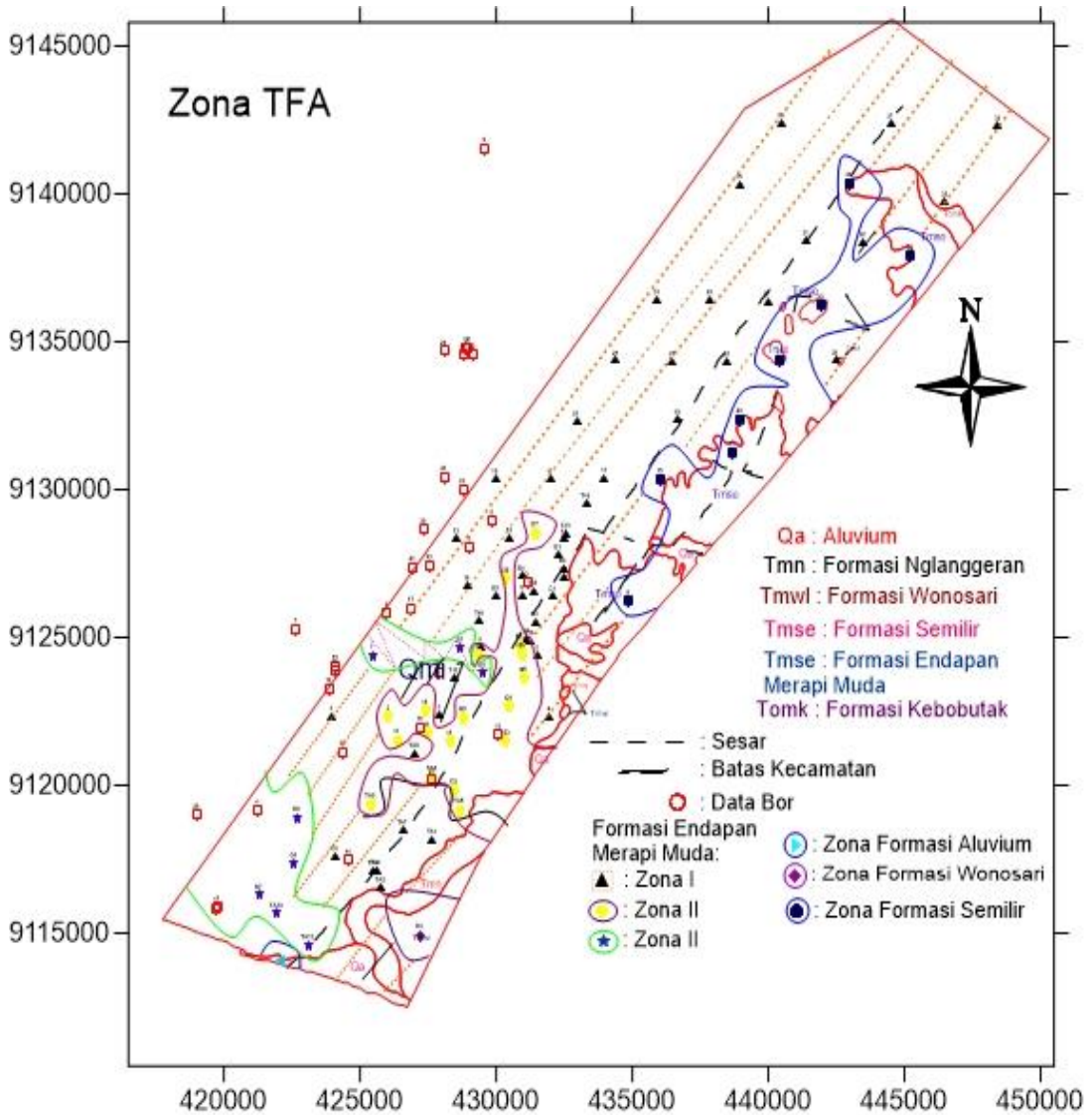
Gambar 19. Contoh gelombang mikrotremor pada titik penelitian

Sinyal mikrotremor memiliki pola spektrum yang berbeda-beda tergantung jenis batumannya seperti batu pasir akan memberikan respon pada seismogram dalam bentuk amplitudo tinggi dengan durasi getaran yang lebih pendek. Batu breksi, dan batu lempung akan memberikan respon pada seismogram dalam bentuk amplitudo rendah dengan durasi getaran yang lebih panjang. Jika terbentuk perlapisan dengan tiga material tersebut akan memberikan respon pada seismogram dalam bentuk amplitudo rendah hingga tinggi dengan durasi getaran yang lama. Wilayah yang dilalui jalur Sesar Opak memberikan respon mikrotremor dengan amplitudo sinyal komponen vertikal dan horizontal yang berbeda, dimana sinyal komponen horizontal cenderung bernilai lebih besar dari sinyal komponen vertikal karena adanya *noise* yang tidak diinginkan seperti angin dan hujan.

Dari peta geologi wilayah Yogyakarta terlihat bahwa kawasan Sesar Opak melewati beberapa formasi geologi yaitu formasi Wonosari, formasi Nglanggran, tanah Aluvium, formasi Wonosari, dan formasi Endapan Merapi Muda. Formasi Endapan Merapi Muda merupakan formasi terbesar yang mengelilingi kawasan jalur Sesar Opak. Berdasarkan hal tersebut, maka daerah penelitian dapat dibagi ke dalam 4 zona TFA yang dikelompokkan menurut formasinya seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 20.

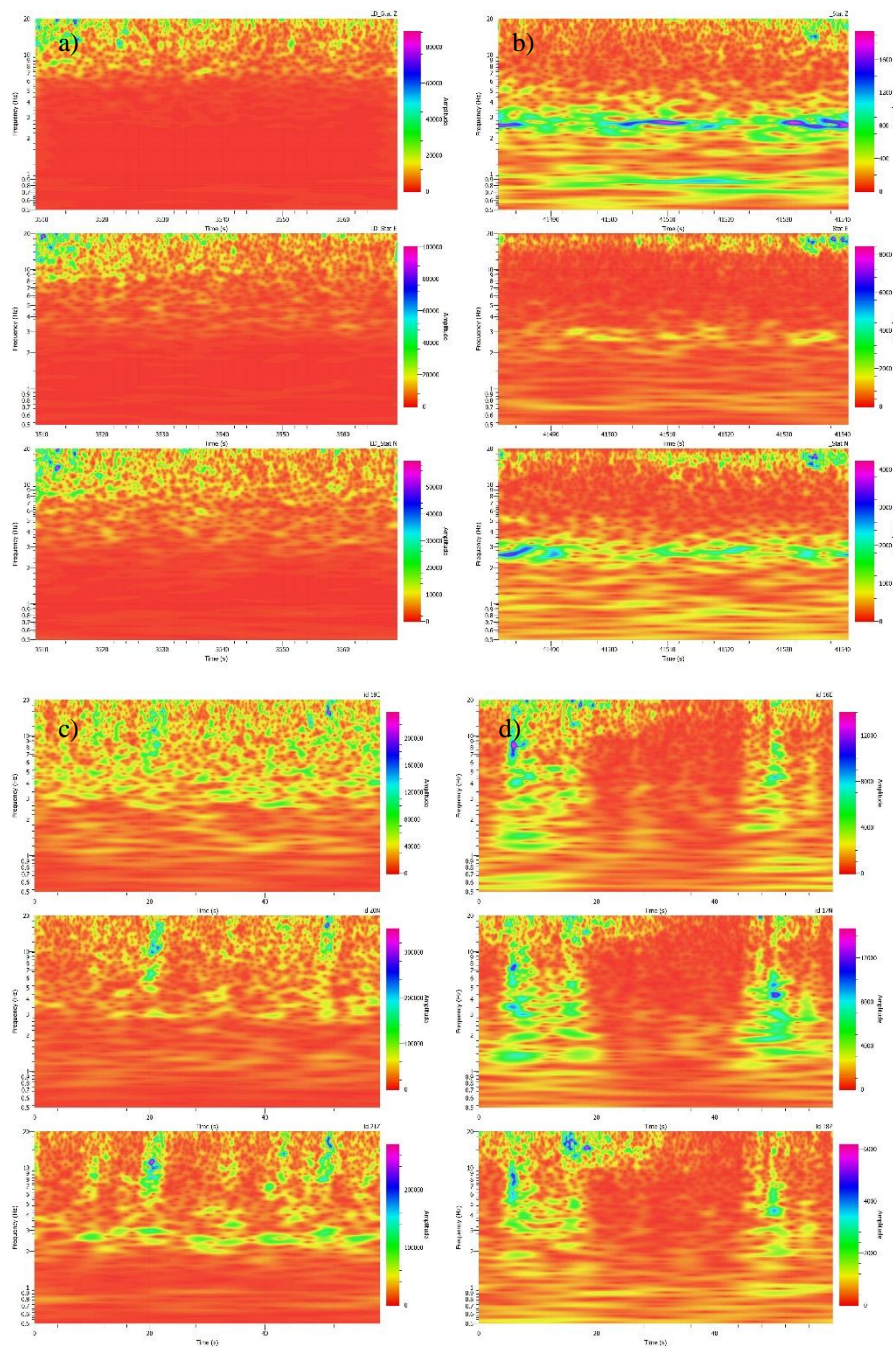
Zonasi citra TFA di kawasan Sesar Opak berada pada wilayah bagian selatan Kabupaten Bantul, Yogyakarta hingga wilayah bagian utara yaitu Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Formasi Aluvium terletak di wilayah kecamatan Kretek bagian selatan, formasi Wonosari berada di wilayah kecamatan Panggang bagian utara, dan formasi Semilir berada pada kecamatan Imogiri bagian timur laut, kecamatan Pleret bagian utara, kecamatan Piyungan bagian timur, kecamatan

Berbah bagian timur, serta kecamatan Prambanan bagian utara dan barat laut. Sedangkan untuk formasi Endapan Merapi Muda berada pada semua wilayah penelitian yaitu dari Kretek hingga Prambanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 20. Zonasi citra TFA berdasarkan formasi geologi di wilayah Sesar Opak



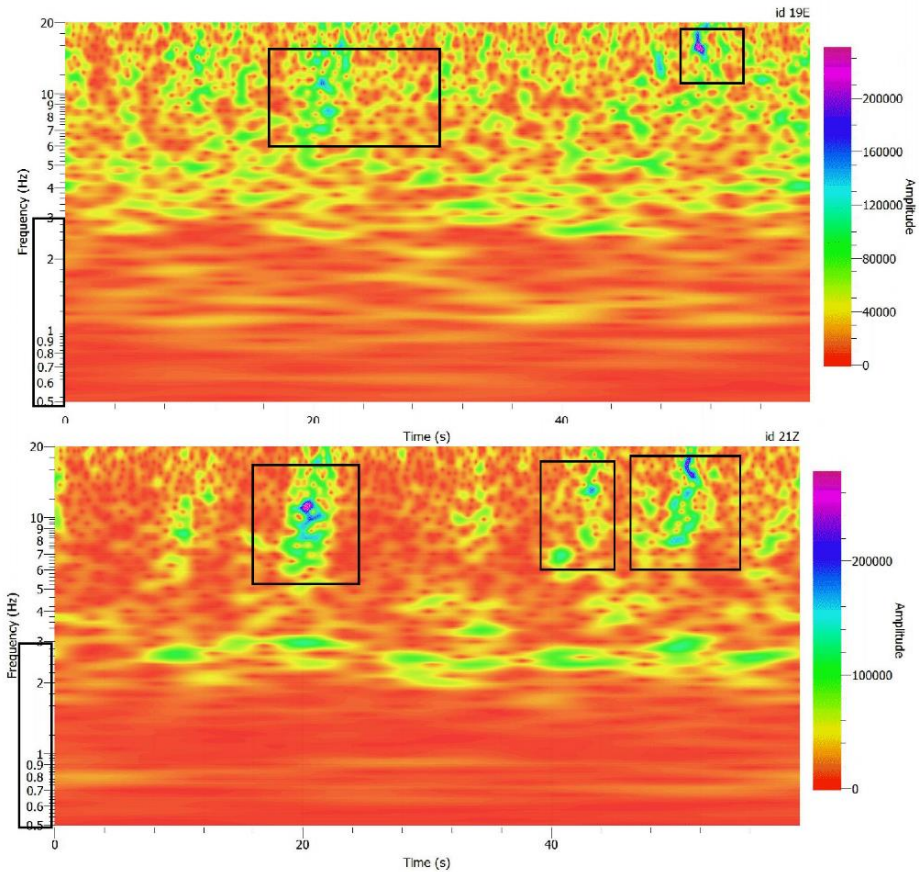


Gambar 22. Citra TFA berdasarkan formasi geologi di kawasan Sesar Opak. (a) Citra TFA pada Formasi Merapi Muda, (b) Citra TFA pada Formasi Semilir, (c) Aluvium, dan (d) Formasi Wonosari

Berdasarkan zonasi TFA yang sudah dilakukan pada daerah penelitian, maka dapat dianalisis lebih lanjut pola citra TFA masing-masing perwakilan titik penelitian pada masing-masing formasi dengan mengambil dua komponen citra

TFA yaitu pada komponen horizontal *East-West* (EW), dan komponen vertikal. Pola citra TFA pada masing-masing zona dapat dijabarkan sebagai berikut:

### 1. Zona Aluvium



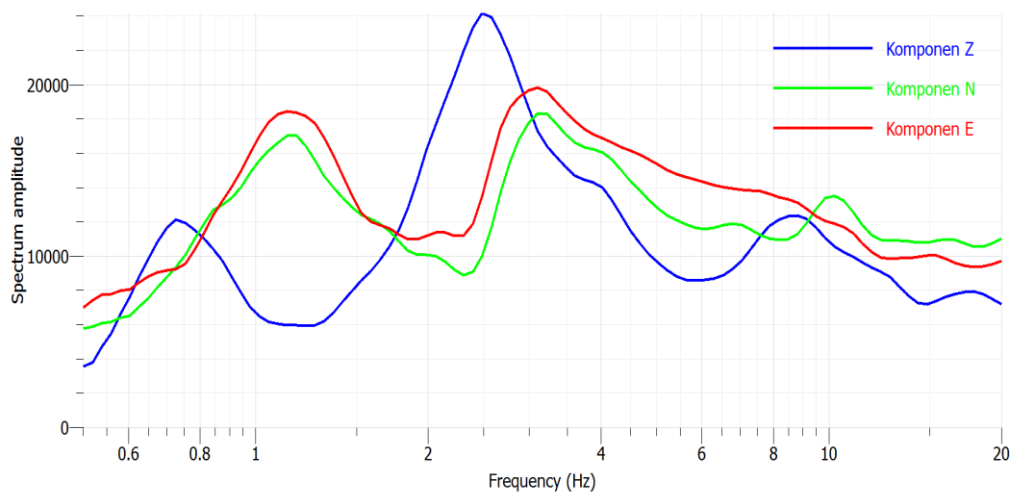
Gambar 23. Citra TFA untuk titik D5

Gambar 23 menunjukkan citra TFA untuk titik D5 pada zona Aluvium. Zona Aluvium adalah zona yang berada pada lapisan tanah aluvium yang terdiri dari kerikil, pasir, lanau dan lempung yang umumnya terdapat pada sepanjang dataran pantai. Lapisan sedimen tersebut berpengaruh terhadap distribusi frekuensi dan amplitudo sehingga mengakibatkan puncak TFA berada pada nilai lebih dari 3 Hz.

Pada zona Aluvium, karakteristik warna kuning dan hijau yang menunjukkan amplitudo tinggi mendominasi pada frekuensi rendah hingga tinggi. Pada citra TFA

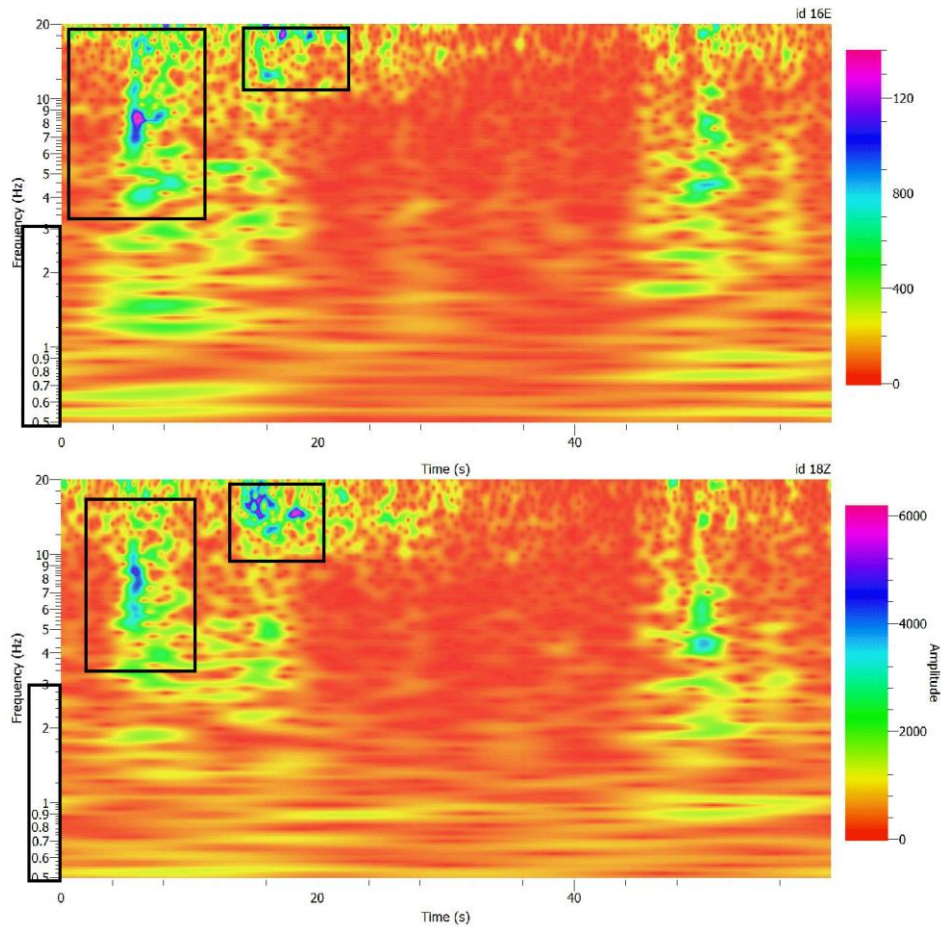
untuk titik D5, nilai frekuensi rendahnya ketika frekuensi 0 Hz hingga 3 Hz dengan nilai amplitudo rendah dari 0  $\mu\text{m}$  hingga 10000  $\mu\text{m}$ , hal ini disebabkan oleh tanah Aluvium yang terdiri dari sedimen lunak seperti kerikil, pasir, dan lanau. Sedangkan nilai frekuensi tingginya dari 5 Hz hingga 20 Hz dengan amplitudo 0  $\mu\text{m}$  hingga 200000  $\mu\text{m}$  yang bersesuaian dengan tanah lempung yang termasuk ke dalam sedimen sedikit keras.

Kurva spektrum memiliki puncak di frekuensi rendah berarti titik lokasi D5 didominasi oleh tanah lunak dan tanah agak keras sehingga cocok dengan susunan litologi tanah Aluvium yang dijelaskan pada peta Geologi Yogyakarta oleh Rahardjo, dkk. (1995). Amplitudo tinggi di frekuensi rendah bisa diasumsikan bahwa sedimennya lunak, sedangkan puncak amplitudo tinggi di frekuensi menengah maka sedimennya agak keras seperti yang ditunjukkan pada Gambar 24.



Gambar 24. Kurva spektrum titik D5

## 2. Zona Formasi Wonosari

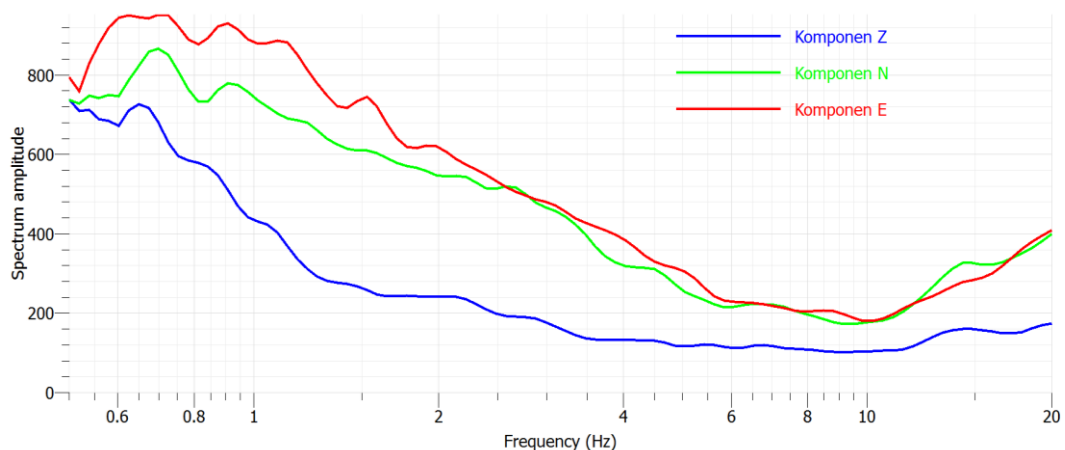


Gambar 25. Citra TFA untuk titik D3

Menurut Surono dkk. (1992), kedudukan stratigrafi formasi Wonosari di bagian bawah menjemari dengan formasi Oyo, sedangkan di bagian atas menjemari dengan formasi Kepek. Formasi Wonosari terbentuk pada Miosin tengah dengan lapisan litologi yang didominasi oleh batuan karbonat yang terdiri dari kalkarenit tuf, kalkarenit, konglomerat gamping, dan batugamping. Lapisan sedimen yang menyusun formasi Wonosari merupakan lapisan yang keras sehingga mempengaruhi pola yang terbentuk pada citra TFA seperti yang ditunjukkan pada Gambar 25.

Pada zona formasi Wonosari, karakteristik warna kuning dan hijau yang menunjukkan amplitudo tinggi mendominasi pada frekuensi rendah hingga tinggi. Pada citra TFA untuk titik D3, nilai frekuensi rendahnya ketika frekuensi 0 Hz hingga 3 Hz dengan nilai amplitudo rendah dari 0  $\mu\text{m}$  hingga 4000  $\mu\text{m}$  disebabkan oleh lapisan sedimennya yang berupa batugamping, dan konglomerat gamping, sedangkan nilai frekuensi tingginya dari 5 Hz hingga 20 Hz dengan amplitudo 0  $\mu\text{m}$  hingga 6000  $\mu\text{m}$  disebabkan oleh lapisan sedimennya yang berupa kalkarenit, dan kalkarenit tuf yang memiliki struktur lebih keras dan tebal dibandingkan batugamping.

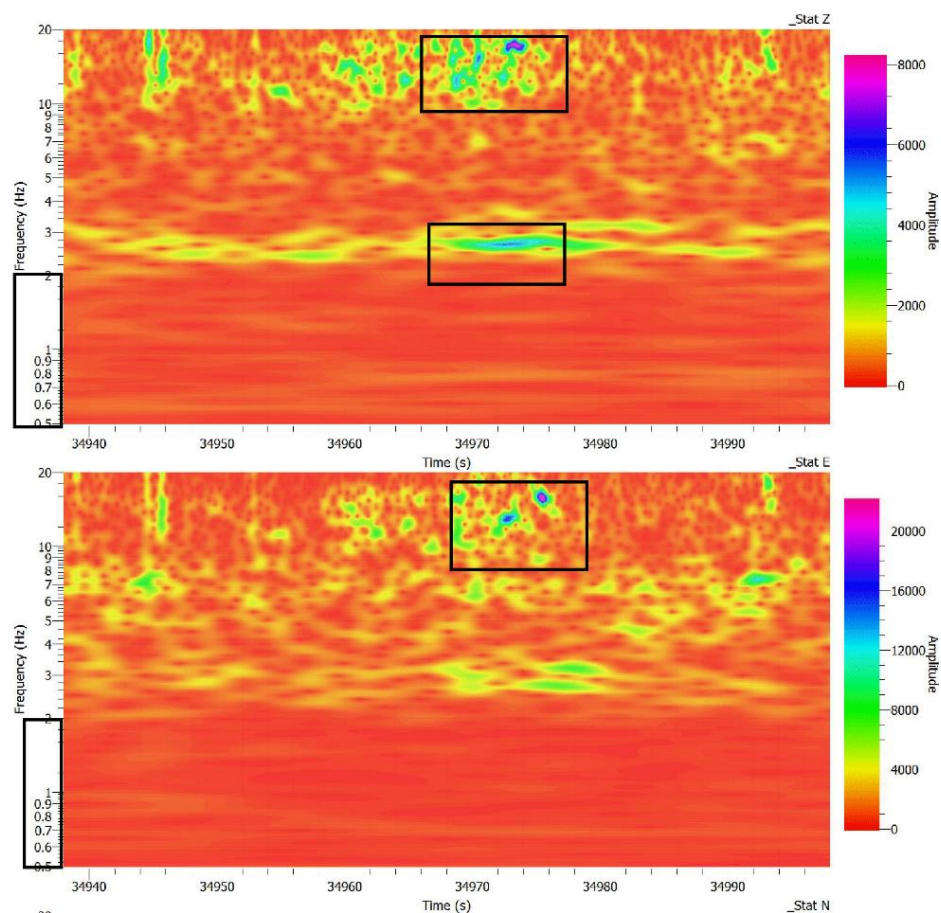
Kurva spektrum untuk titik D3 pada komponen vertikal dan horizontal memiliki nilai puncak di frekuensi rendah dengan amplitudo tinggi. Nilai amplitudo tinggi di frekuensi rendah menunjukkan bahwa lokasi titik D3 didominasi tanah lunak dengan lapisan sedimen yang tebal. Kurva spektrum dan citra TFA memiliki kecocokan karena mempunyai nilai puncak yang sama yaitu ketika frekuensi masih bernilai rendah. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 26.



Gambar 26. Kurva spektrum titik D3

### 3. Zona Formasi Semilir

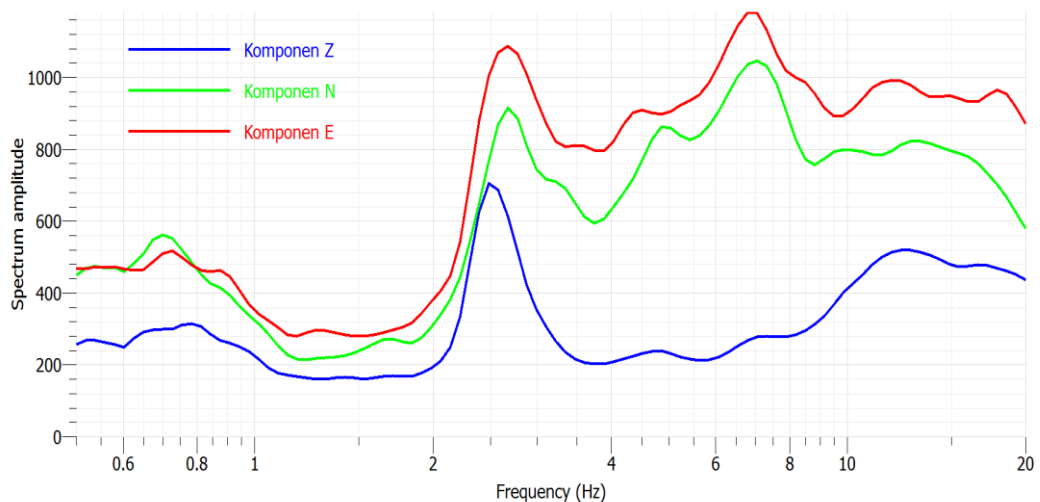
Surono dkk. (1992) menyatakan bahwa formasi Semilir memiliki stratigrafi menjemari dengan formasi Nglanggran dan formasi Sambipitu, namun tertindih secara tidak selaras oleh formasi Oyo. Formasi Semilir terbentuk pada Miosen Awal dengan lapisan litologi penyusunnya terdiri oleh perselingan breksi-tuf, breksi batupung, tuf dasit, tuf andesit, dan batulempung tufan. Lapisan batuan yang menyusun formasi Semilir merupakan lapisan sedimen yang keras dan batuan beku sehingga mempengaruhi nilai citra TFA seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 27.



Gambar 27. Citra TFA titik 20

Pada zona formasi Semilir, karakteristik warna kuning dan hijau yang bersesuaian dengan amplitudo tinggi mendominasi pada frekuensi rendah hingga tinggi. Pada citra TFA untuk titik 20, nilai frekuensi rendahnya ketika frekuensi 0 Hz hingga 2 Hz dengan nilai amplitudo rendah dari 0  $\mu\text{m}$  hingga 4000  $\mu\text{m}$  yang disebabkan oleh batuan beku seperti tuf andesit, dan tuf dasit yang memiliki struktur yang keras dan memiliki banyak kandungan mineral, sedangkan nilai frekuensi tingginya dari 5 Hz hingga 20 Hz dengan amplitudo 0  $\mu\text{m}$  hingga 20000  $\mu\text{m}$  disebabkan oleh susunan batuan sedimen keras yaitu batuapung dan breksi-tuf.

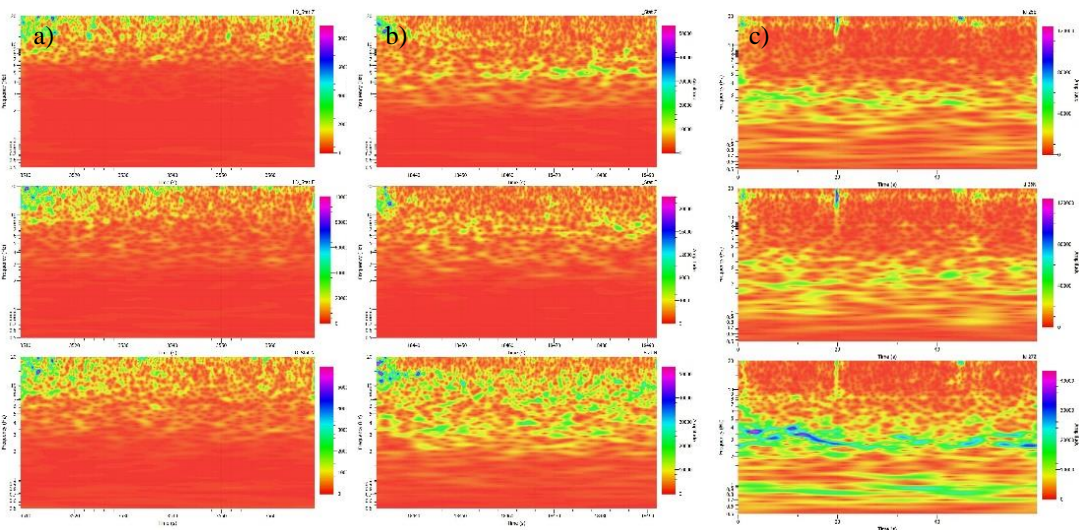
Spektrum memiliki puncak dengan amplitudo tinggi di frekuensi tinggi yang menunjukkan bahwa lokasi titik 20 didominasi oleh tanah keras dengan sedimen yang tebal sehingga sesuai dengan litologi formasi Semilir. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 28, puncak amplitudonya berada pada frekuensi tinggi yang disebabkan oleh adanya batuan beku dan batuan sedimen pada lokasi penelitian yang terletak di Kecamatan Prambanan.



Gambar 28. Kurva spektrum titik 20

#### 4. Formasi Endapan Merapi Muda

Formasi Endapan Merapi Muda tersusun dari breksi vulkan, lava, tuf, aglomerat, dan leleran lava yang tak terpisahkan sebagai hasil dari endapan lahar Gunung Merapi yang diperkirakan mulai terbentuk pada Plestosen Akhir (Surono, dkk., 1992). Formasi Endapan Merapi Muda memiliki beberapa karakteristik mikrotremor yang dapat dikelompokkan menjadi tiga zona berdasarkan pola citra skalogram yang menunjukkan distribusi frekuensi dan amplitudo pada kurva TFA. Hal ini dikarenakan sebagian besar kawasan Sesar Opak berada pada formasi Endapan Merapi Muda yang memiliki hasil pola citra TFA yang berbeda – beda, seperti dapat dilihat pada Gambar 29.



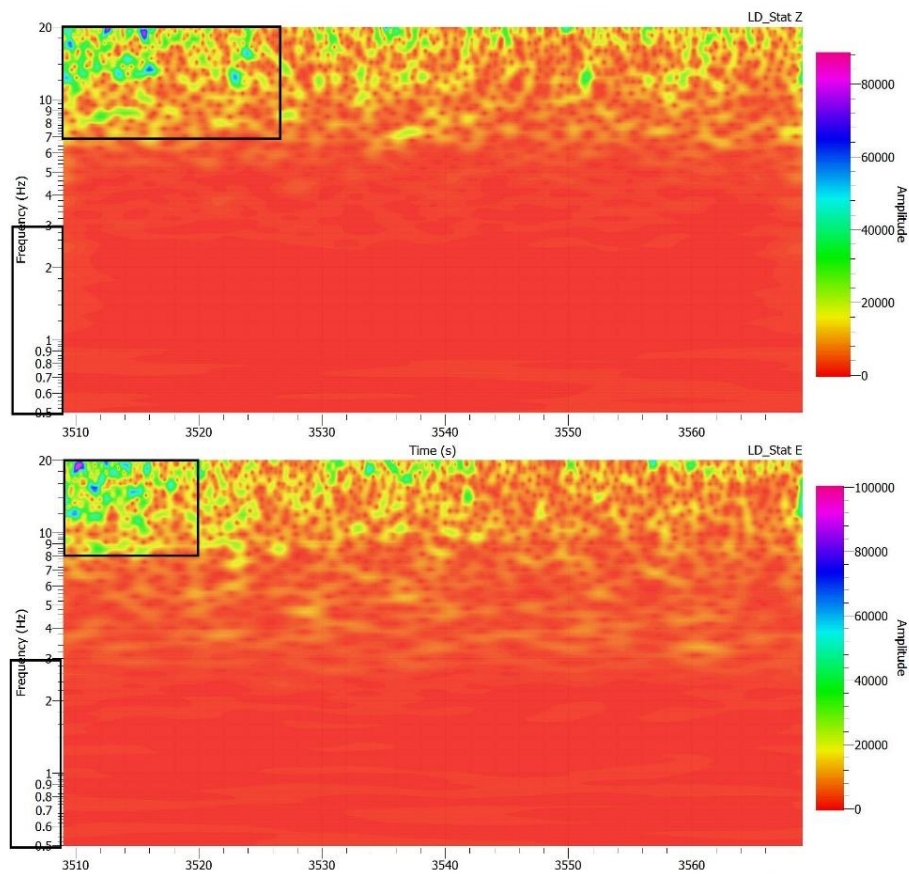
Gambar 29. Citra TFA pada kawasan formasi Endapan Merapi Muda (a) Zona 1, (b) Zona 2, dan (c) Zona 3

Perwakilan setiap zona pada formasi Endapan Merapi Muda adalah sebagai berikut:

##### a. Zona pertama

Berdasarkan Gambar 30, yaitu citra TFA untuk titik 13 yang terletak pada formasi Endapan Merapi Muda zona pertama, karakteristik warna merah

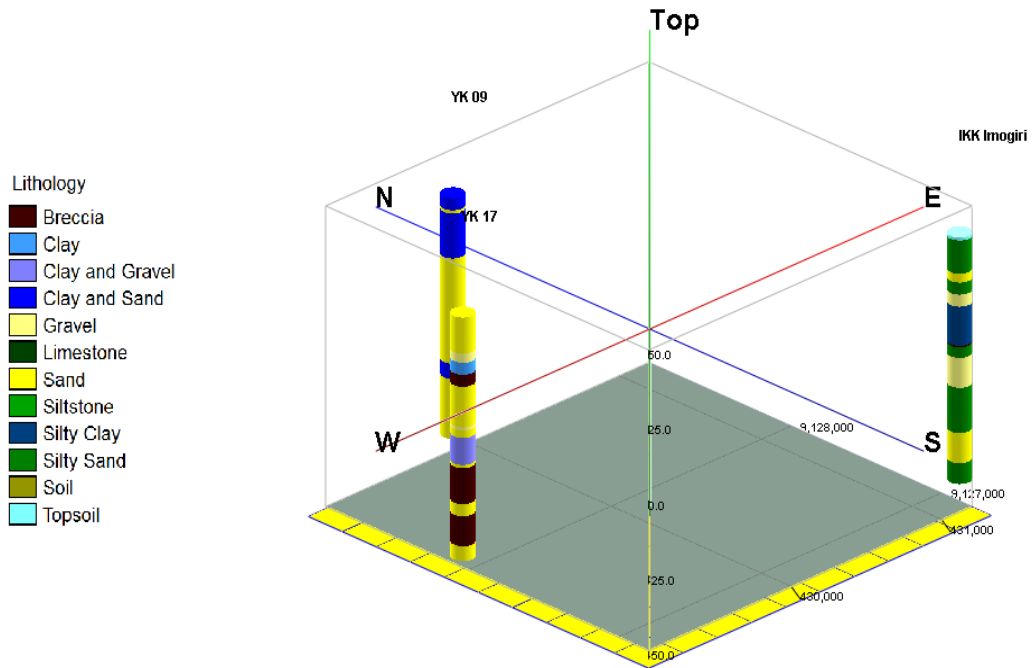
mendominasi pada frekuensi rendah yang menunjukkan amplitudo rendah. Pada citra TFA untuk titik 13, nilai frekuensi rendahnya ketika frekuensi 0 Hz hingga 3 Hz dengan nilai amplitudo rendah dari 0  $\mu\text{m}$  hingga 20000  $\mu\text{m}$ , sedangkan nilai frekuensi tingginya dari 5 Hz hingga 20 Hz dengan amplitudo 0  $\mu\text{m}$  hingga 100000  $\mu\text{m}$ . Citra TFA mencapai puncak tertinggi ketika lebih dari 10 Hz.



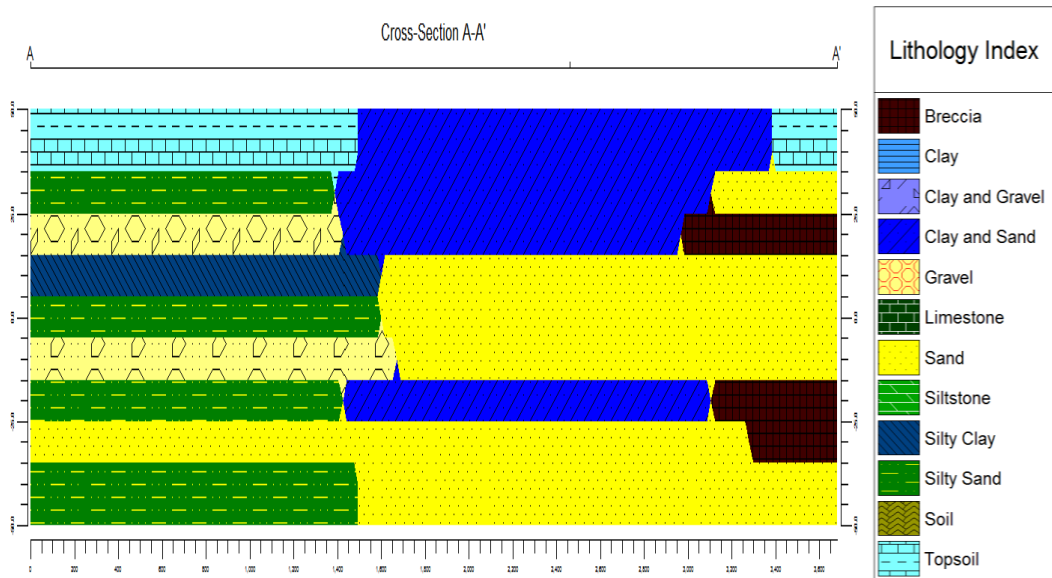
Gambar 30. Citra TFA titik 13

Nilai frekuensi dan amplitudo pada citra TFA dipengaruhi oleh struktur geologi yang dapat dikorelasikan dengan data bor yang terletak di sekitar lokasi penelitian. Lapisan sedimen pada formasi Endapan Merapi Muda berpengaruh terhadap distribusi frekuensi dan amplitudo, hal ini disebabkan oleh penjalaran seismik yang

terjadi di bawah permukaan bumi yang melewati berbagai macam jenis lapisan sedimen sehingga menimbulkan nilai gelombang seismik yang berbeda-beda dan mempengaruhi kurva TFA.



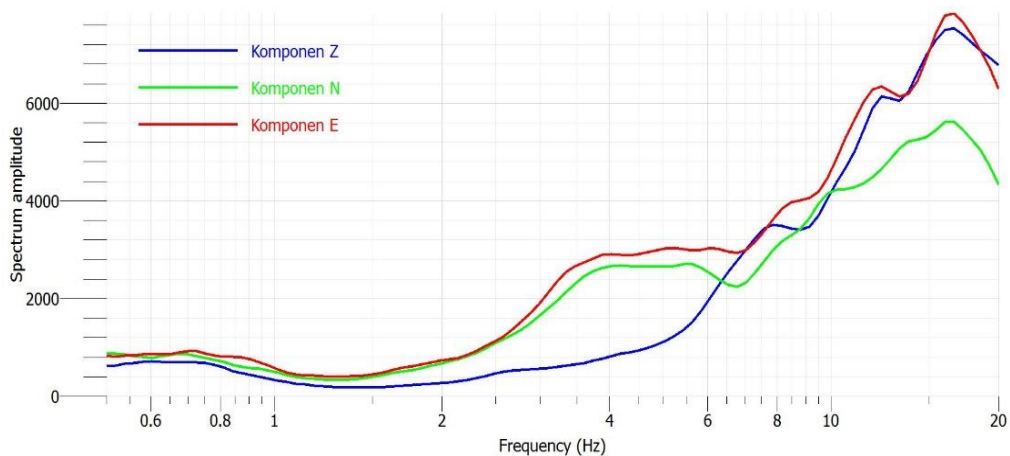
Gambar 31. Borehole IKK Imogiri, YK 09, dan YK 17



Gambar 32. Penampang melintang data bor pada zona pertama

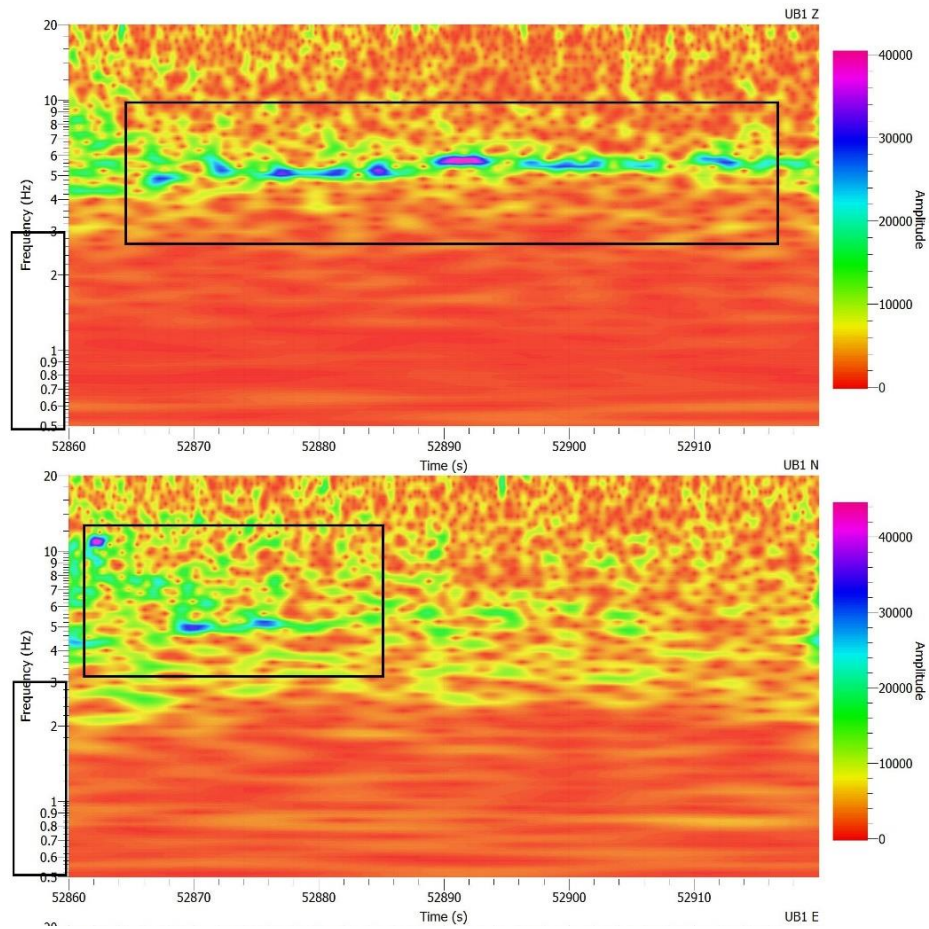
Berdasarkan hasil pengolahan data bor menggunakan *Rockworks* yang menghasilkan *borehole* 3 dimensi pada Gambar 31 dan penampang melintangnya pada Gambar 32 dari data bor IKK Imogiri, YK 09, dan YK 17, dapat diketahui bahwa data bor yang terletak pada zona pertama tersusun oleh lempung, pasir, breksi, kerikil, dan pasir berlumpur. Lapisan penyusun tersebut termasuk ke dalam lapisan sedimen yang bersifat lunak hingga keras sehingga membuat puncak pada citra TFA dimulai dari frekuensi rendah hingga tinggi.

Berdasarkan Gambar 33 dapat diketahui bahwa puncak amplitudo tinggi berada pada frekuensi tinggi yang muncul dari adanya tanah keras, hal ini sesuai dengan lapisan tanah data bor yang nampak adanya lempung di lapisan dangkal dan breksi di lapisan menengah, sedangkan untuk lapisan tanah yang ditunjukkan pada data bor sesuai dengan formasi Endapan Merapi Muda.



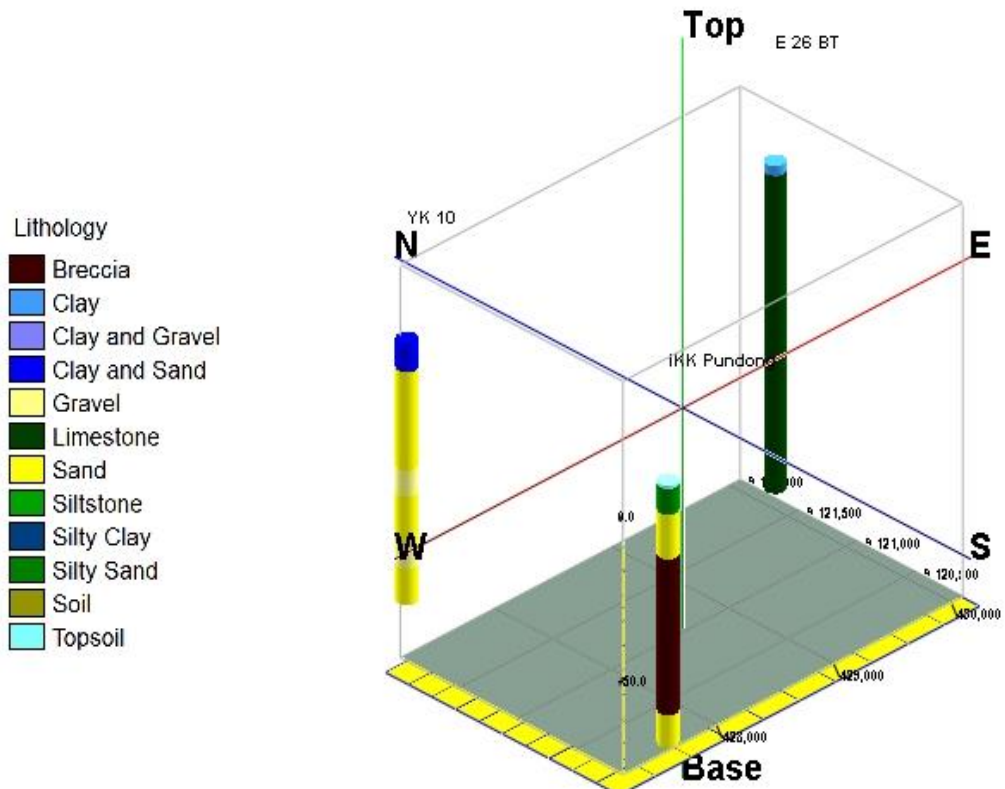
Gambar 33. Kurva spektrum titik 13

b. Zona Kedua

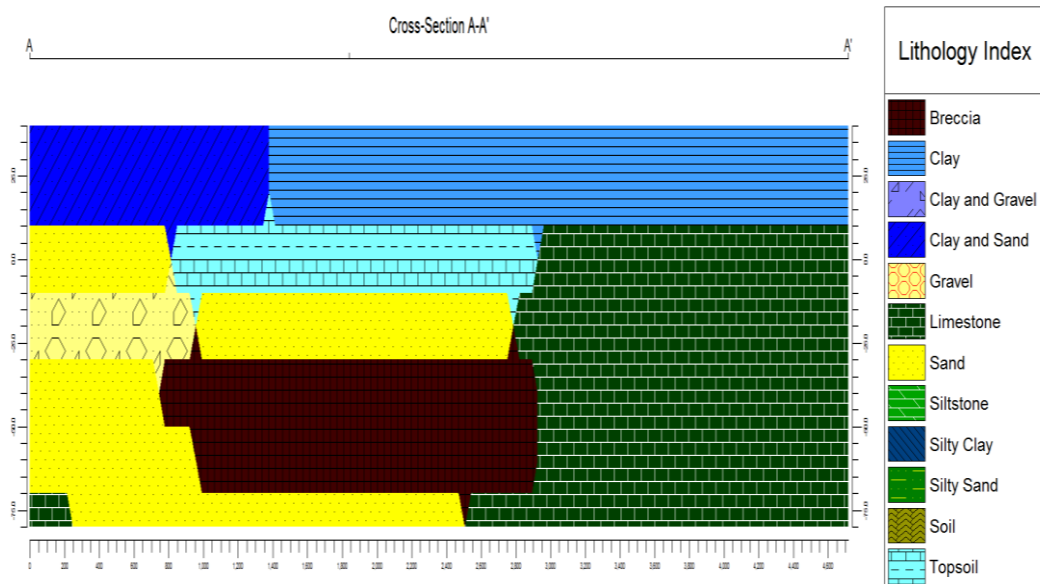


Gambar 34. Citra TFA titik TA8

Gambar 34 menunjukkan citra TFA untuk titik TA8 yang terdapat dalam formasi Endapan Merapi Muda zona kedua. Pada zona kedua, karakteristik warna merah bercampur kuning mendominasi pada frekuensi rendah hingga tinggi yang menunjukkan amplitudo yang bervariasi. Pada citra TFA untuk titik TA8, nilai frekuensi rendahnya ketika frekuensi 0 Hz hingga 3 Hz dengan amplitudo rendah dari 0  $\mu\text{m}$  hingga 10000  $\mu\text{m}$ , sedangkan nilai frekuensi tingginya dari 5 Hz hingga 20 Hz dengan amplitudo 0  $\mu\text{m}$  hingga 40000  $\mu\text{m}$ .



Gambar 35. Borehole IKK Pundong, YK 10, dan E26 BT

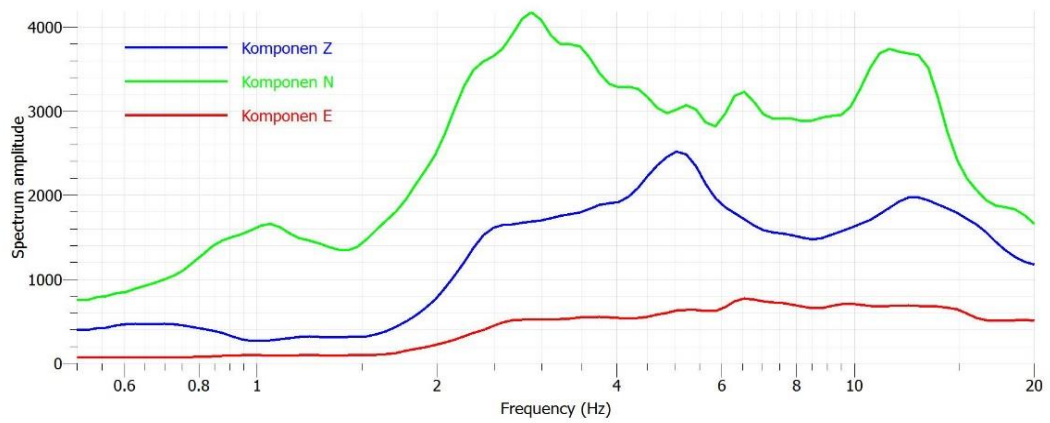


Gambar 36. Penampang melintang data bor pada zona kedua

Struktur geologi lokasi penelitian dapat dikorelasikan dengan data bor yang terletak di sekitar lokasi penelitian. Batuan penyusun yang terdapat pada zona kedua dapat dilihat dari *borehole* 3 dimensi pada Gambar 36 dan dari penampang melintangnya yang ditunjukkan pada Gambar 37, sehingga dapat diketahui bahwa lapisan batuan pada zona kedua terdiri oleh breksi, pasir, kerikil, batugamping, dan lumpur. Struktur lapisan tersebut sesuai dengan batuan penyusun formasi Endapan Merapi Muda yang terdapat pada peta geologi.

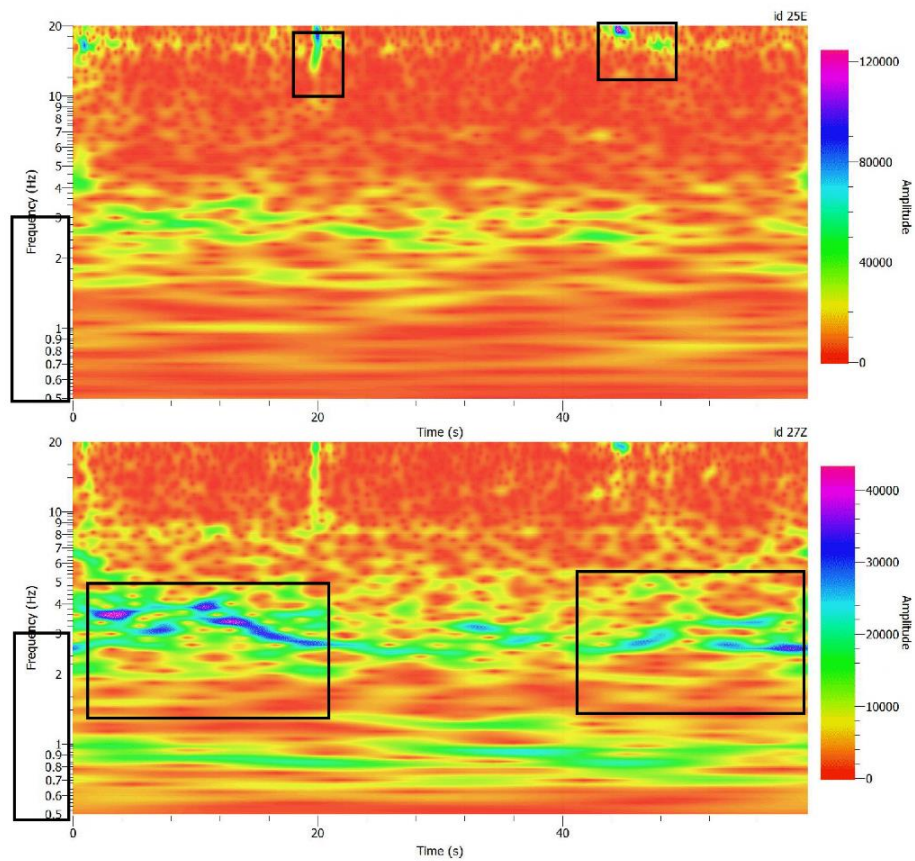
Perbedaan struktur lapisan pada zona pertama dan zona kedua mengakibatkan adanya perbedaan pola distribusi frekuensi dan amplitudo. Jika pada zona pertama memiliki puncak hanya di frekuensi tinggi yang dibuktikan dengan dominasi warna kuning yang disebabkan oleh lapisan batuan berupa sedimen keras, sedangkan pada zona kedua memiliki puncak di frekuensi menengah hingga tinggi yang dibuktikan dengan dominasi warna kuning yang disebabkan oleh lapisan sedimen yang sedikit keras.

Spektrum memiliki puncak amplitudo di frekuensi tinggi berarti muncul dari breksi, sedangkan puncak di frekuensi menengah berasal dari batugamping atau kerikil. Adanya batugamping pada data bor disebabkan oleh lokasinya yang berada di daerah Imogiri yang merupakan daerah perbukitan dan berbatasan dengan wilayah Gunung Kidul, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 37.



Gambar 37. Kurva spektrum titik TA8

c. Zona Ketiga

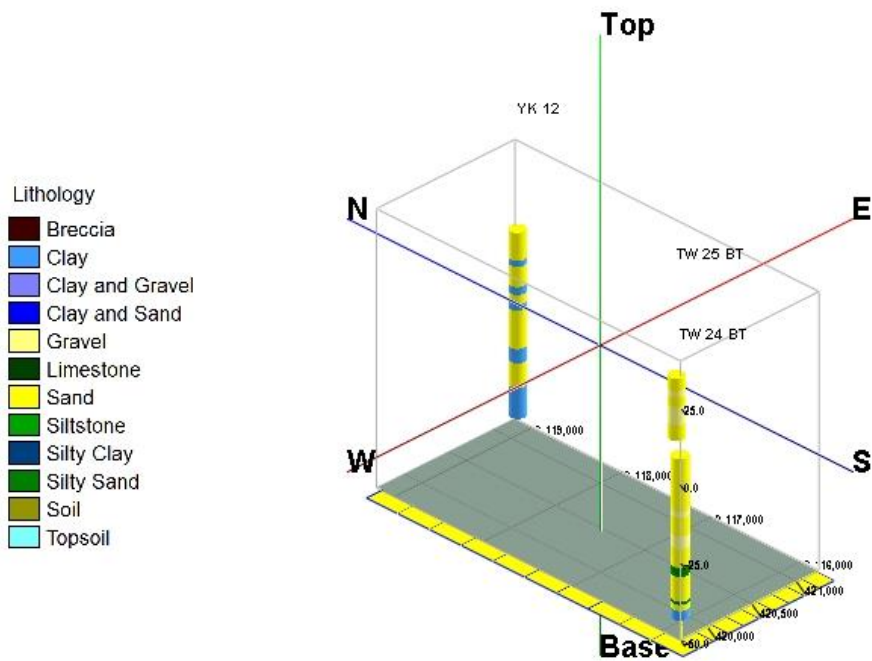


Gambar 38. Citra TFA titik D7

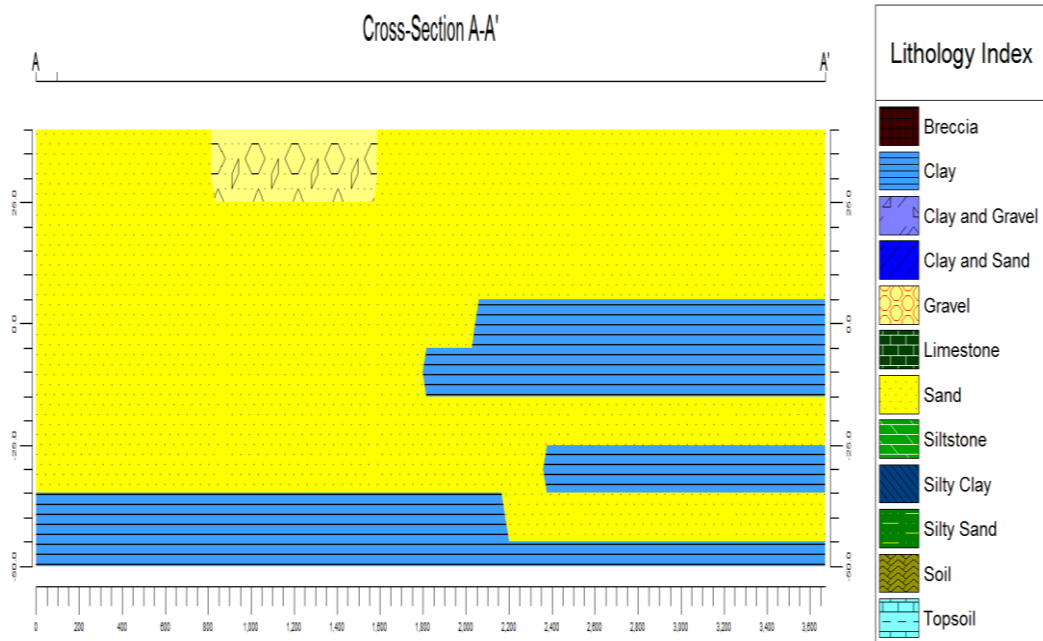
Gambar 38 menunjukkan citra TFA untuk titik D7 dengan karakteristik warna merah bercampur dengan kuning dan hijau mendominasi yang menunjukkan amplitudo rendah hingga tinggi. Pada citra TFA untuk titik D7, nilai frekuensi rendahnya ketika frekuensi 0 Hz hingga 3 Hz dengan nilai amplitudo rendah dari 0  $\mu\text{m}$  hingga 10000  $\mu\text{m}$ , sedangkan nilai frekuensi tingginya dari 5 Hz hingga 20 Hz dengan amplitudo 0  $\mu\text{m}$  hingga 120000  $\mu\text{m}$ . Puncak pada citra TFA titik D7 berada pada frekuensi rendah yaitu sebesar 0,6 Hz.

Jika dilihat dengan zona pertama dan zona kedua, pola citra TFA pada zona yang ketiga memiliki perbedaan yang sangat mencolok, dimana puncak pada citra TFA berada pada nilai frekuensi yang rendah. Perbedaan pola citra TFA tersebut dipengaruhi oleh jenis lapisan sedimen yang berada di sekitar lokasi penelitian, dimana zona ketiga terletak pada formasi Endapan Merapi Muda bagian selatan yang berdekatan dengan tanah Aluvium.

Untuk mengetahui jenis lapisan sedimen yang tersusun pada zona ketiga, maka dapat diketahui dari data bor yang berada di sekitar lokasi penelitian. Data bor pada zona ketiga menunjukkan bahwa lapisan sedimennya sebagian besar terdiri dari tanah pasir, kerikil, lempung, dan pasir. Jenis lapisan sedimen tersebut merupakan jenis lapisan sedimen yang lunak hingga keras sehingga sesuai dengan pola citra TFA untuk titik D7. *Borehole 3* dimensi pada zona ketiga dapat dilihat pada Gambar 39, sedangkan untuk melihat secara detail jenis lapisan sedimennya, dapat dilihat pada Gambar 40.

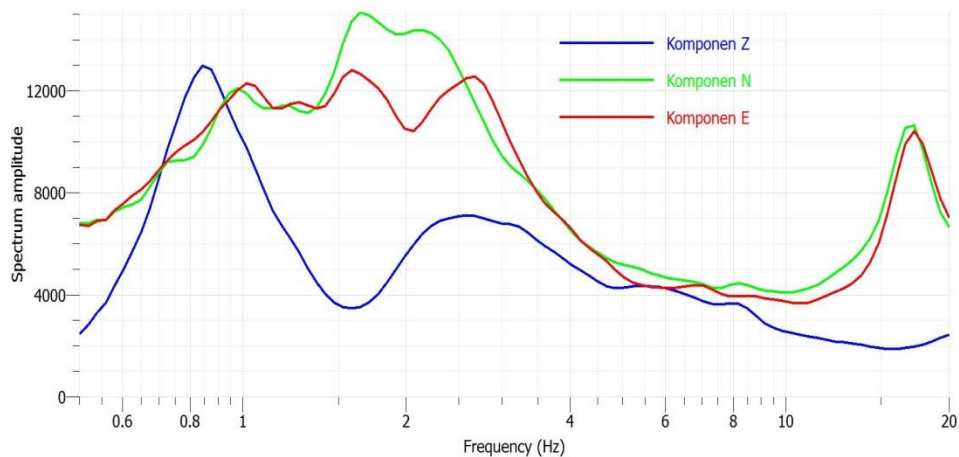


Gambar 39. Borehole TW 24 BT, TW 25 BT, dan YK 12



Gambar 40. Penampang melintang data bor zona ketiga

Puncak spektrum di frekuensi rendah dengan amplitudo tinggi menunjukkan bahwa lokasi titik D7 didominasi oleh tanah lunak yaitu pasir, sedangkan puncak di frekuensi menengah menunjukkan bahwa tanahnya berupa kerikil yang terdapat di lapisan atas, dan puncak di frekuensi tinggi menunjukkan adanya tanah lempung di lapisan bawah. Kurva spektrum zona ketiga untuk titik D7 ditunjukkan pada Gambar 41.

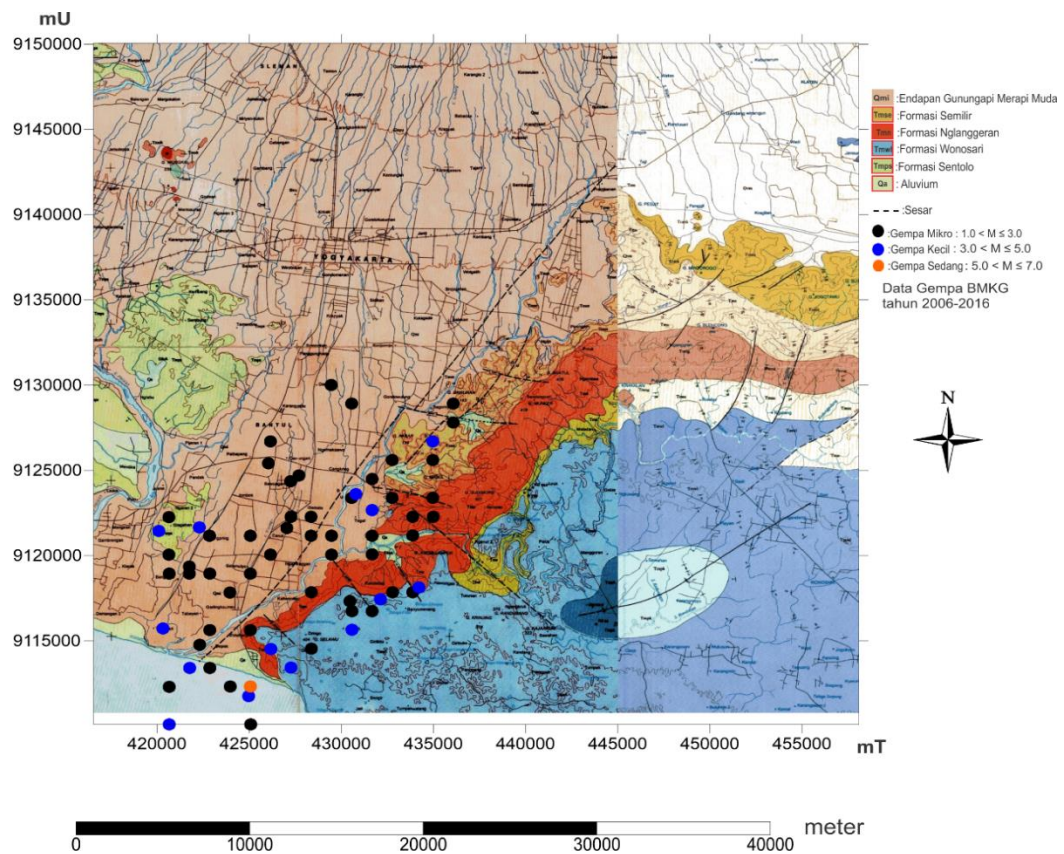


Gambar 41. Kurva spektrum titik D7

Karakteristik mikrotremor di kawasan Sesar Opak memiliki citra TFA dan spektrum yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan karena persebaran titik data penelitian yang berada di beberapa susunan formasi geologi. Titik data penelitian yang berada pada daerah perbatasan antara dua formasi akan menghasilkan citra TFA yang mirip dengan salah satu formasi. Pada tanah lunak biasanya akan memiliki frekuensi rendah sehingga mempercepat terjadinya resonansi ketika ada gempabumi yang dapat menimbulkan kerusakan parah ketika magnitudo tinggi di kedalaman yang cukup dangkal. Formasi geologi dengan struktur tanah lunak memiliki frekuensi tinggi, sehingga ketika terjadi gempabumi akan sulit beresonansi sehingga tidak menimbulkan kerusakan parah.

## B. Analisis Seismisitas

Seismisitas adalah aktivitas gempabumi dalam kurun waktu tertentu di suatu daerah. Seismisitas digunakan sebagai ukuran untuk membandingkan aktivitas seismik suatu wilayah dengan wilayah lainnya. Berdasarkan data yang tercatat oleh BMKG, pada tahun 2006-2016 terjadi banyak kejadian gempabumi di sekitar Sesar Opak. Hal ini disebabkan oleh gempabumi tahun 2006 di sekitar Sesar Opak. Untuk mengetahui seismisitas di sekitar Sesar Opak maka diperlukan data distribusi pola aktivitas kegempaan berdasarkan analisis hubungan frekuensi dengan magnitudo yang dapat diperoleh dengan menggambarkan pola sebaran parameter-parameter seismisitas  $a$  dan  $b$  serta periode ulangnya, dan melakukan pemetaan kegempaan untuk mengklasifikasikan satu daerah dengan daerah lainnya. Peta seismisitas di sekitar Sesar Opak ditunjukkan pada Gambar 42.



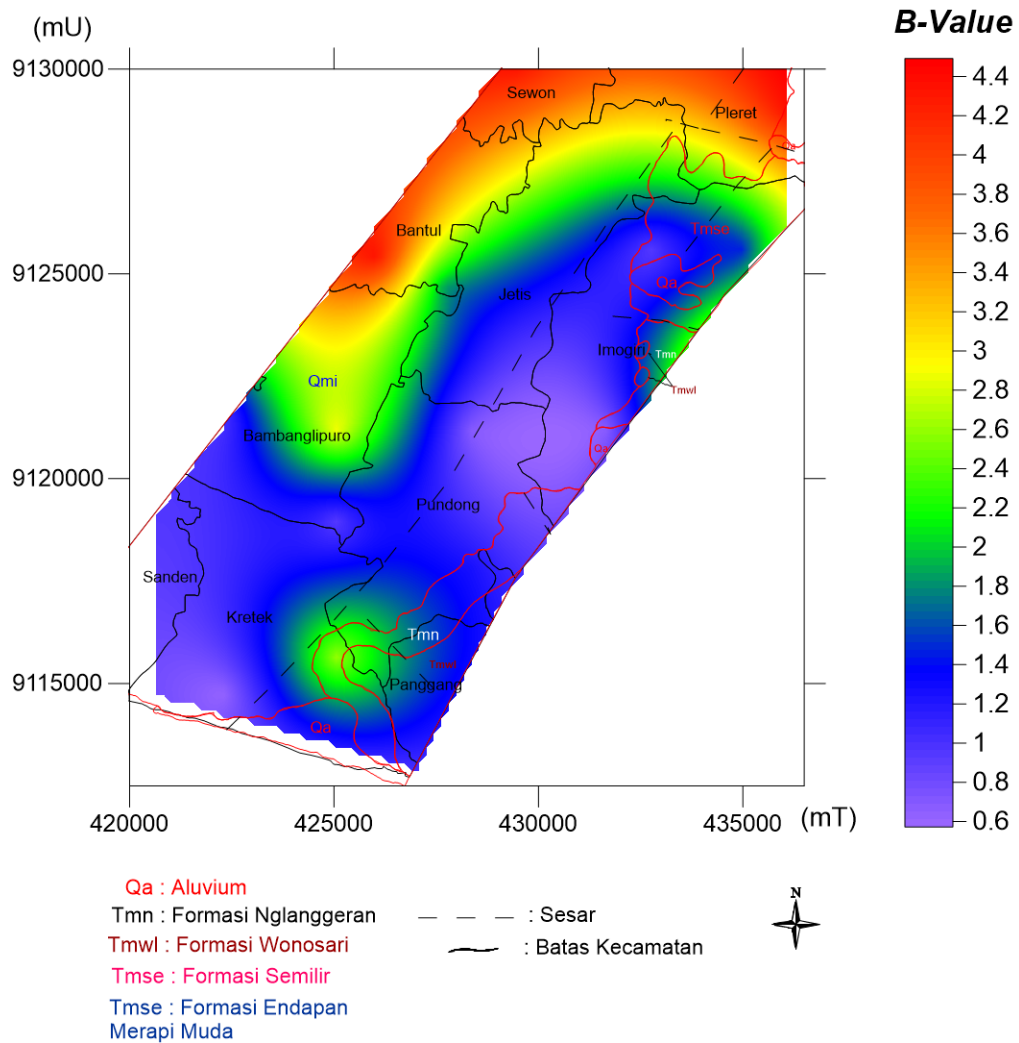
Gambar 42. Peta Seismisitas di sekitar Sesar Opak

Berdasarkan data gempa yang dimiliki oleh BMKG diketahui bahwa gempa bumi di sekitar jalur Sesar Opak antara 1,7 SR – 5,9 SR yang artinya termasuk karakteristik gempa bumi mikro dan gempa bumi sedang. Gempa bumi mikro dikategorikan sebagai gempa bumi yang tidak berbahaya, sedangkan gempa bumi sedang bisa menimbulkan bahaya. Untuk kedalaman gempa bumi di sekitar Sesar Opak tahun 2006-2016 menunjukkan bahwa kedalaman gempa bumi berada antara 10 km hingga 20 km, yang artinya termasuk karakteristik gempa bumi dangkal karena *hiposenternya* kurang dari 50 km dari permukaan bumi. Gempa bumi dangkal bisa menyebabkan kerusakan karena jaraknya dekat dengan permukaan. Dilihat dari *magnitude* yang kecil dengan kedalaman dangkal menunjukkan bahwa daerah di sekitar Sesar Opak terjadi aktivitas sesar aktif.

Parameter nilai *b* menunjukkan karakter seismotektonik dan tingkat *stress* struktur material suatu wilayah. Nilai *b* sangat penting karena menggambarkan tingkat *stress* lokal pada wilayah Sesar Opak. Analisa nilai *b* dilakukan dengan membagi daerah penelitian ke dalam ukuran *grid* 4 km x 4 km, dan didapatkan 20 zona *grid* dengan beberapa nilai *magnitude* yang masuk dalam zona tersebut. Masing-masing zona dihitung nilai *b* dengan menggunakan metode *maximum likelihood* dan didapatkan peta hasil pemodelan nilai *b* wilayah Sesar Opak bagian selatan dan sedikit ke utara seperti ditunjukkan pada Gambar 43.

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan didapatkan *b-value* di sekitar Sesar Opak antara 0,6 - 4,4. Nilai ini menunjukkan aktivitas tektonik kegempaan tinggi yang artinya sering terjadi gempa-gempa kecil. Wilayah Sesar Opak bagian utara termasuk wilayah yang memiliki tingkat *stress* yang rendah,

terlihat dari distribusi *b-value* tinggi, sedangkan wilayah selatan Sesar Opak termasuk wilayah dengan tingkat *stress* yang tinggi dilihat dari *b-value* rendah sehingga memiliki kemungkinan yang lebih besar untuk terjadi gempa bumi, begitu pula sebaliknya.



Gambar 43. Peta pemodelan *b-value* di sekitar Sesar Opak

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sinyal mikrotremor di kawasan Sesar Opak dapat dikelompokkan berdasarkan formasi geologinya, yaitu zona alluvium yang mempunyai puncak amplitudo di frekuensi menengah, zona formasi Wonosari yang memiliki puncak amplitudo di frekuensi rendah, zona Semilir yang memiliki puncak amplitudo di frekuensi menengah hingga tinggi, zona Endapan Merapi Muda I dengan puncak amplitudo di frekuensi tinggi, zona II yang memiliki puncak amplitudo di frekuensi menengah hingga tinggi, dan zona III yang memiliki puncak amplitudo di frekuensi rendah hingga tinggi.
2. Berdasarkan analisis seismisitas, gempabumi di sekitar Sesar Opak memiliki magnitudo sekitar 1,7 SR hingga 5,9 SR yang termasuk gempabumi mikro dan gempabumi sedang dengan kedalaman 10 km hingga 20 km. *B-value* di sekitar Sesar Opak antara 0,6 hingga 4,4 dengan wilayah Sesar Opak bagian utara memiliki tingkat *stress* rendah, sedangkan bagian selatan memiliki tingkat *stress* tinggi.

#### **B. Saran**

Untuk penelitian sejenis selanjutnya disarankan untuk memperluas wilayah penelitian di sekitar Sesar Opak agar memiliki banyak perbandingan pola citra TFA untuk setiap formasi geologi selain pada formasi Endapan Merapi Muda serta mengambil data gempabumi dalam kurun waktu yang lama agar dapat menganalisa seismisitas dari parameter *a-value*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z. Dkk. 2009. *Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS. Jurnal Geologi Indonesia.* p.275-284
- Aki, Keiiti. 1965. *Maximum likelihood estimate of b in the formula  $\log N = a - bM$  and its confidence limits.* Earthquake Research Institute.
- Anderson, E. M. 1951. *The Dynamics of Faulting: Oliver & Boyd, Edinburgh.*
- BMKG. 2010. Gempabumi. Diakses dari [http://www.bmkg.go.id/BMKG\\_Pusat/Gempabumi\\_Tsunami/Gempabumi\\_bmkg#ixzz4GdRWkWY](http://www.bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Gempabumi_Tsunami/Gempabumi_bmkg#ixzz4GdRWkWY) pada 20 Juni 2016 pukul 18.30
- BMKG. 2010. *InaTEWS: Konsep dan Implementasi.* Jakarta: BMKG.
- BNPB. 2008. *Pedoman Penyusunan Rencana Penanggulangan Bencana.* Jakarta: BNPB.
- Bock *et al.*,. 2003. *Crustal motion in Indonesia for Global Positioning System measurements.* Journal of Geophysical Research.
- Braile, L. 2006. *Seismic Waves and the Slinky.* Purdue University. p-15
- Cohen, L. 1995. *Time-Frequency Analysis.* New York: Prentice-Hall.
- Daryono, dan Bambang. 2009. *Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempabumi.* Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Daryono, dkk. 2009. *Efek Tapak Lokal di Graben Bantul berdasarkan Pengukuran Mikrotremor.* Yogyakarta: International Conference Earth Science and Technology.
- Daryono. 2010. *Aktivitas Gempa Tektonik di Yogyakarta Menjelang Erupsi Merapi 2010.* Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Elnashai A, and Luigi, D. *Fundamentals of Earthquake Engineering.* Hongkong: Willey.
- ESDM. 2016. Gempabumi Yogyakarta. Diakses dari <http://geomagz.geologi.esdm.go.id/10-tahun-gempa-yogyakarta/> pada tanggal 26 Mei 2016
- Fathonah, Ira Maya. 2014. *Identifikasi Jalur Sesar Opak Berdasarkan Analisis Data Anomali Medan Magnet dan Geologi Regional Yogyakarta.* Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Haifani, Muktaf Ahmad. 2008. *Manajemen Resiko Bencana Gempa Bumi.* Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir
- Ibrahim, Gunawan, dan Subardjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi.* Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.

- Irham, M., Dkk. 2010. *Pemetaan Sesar Opak dengan Metode Gravity (Studi Kasus Daerah Parangtritis dan Sekitarnya)*. Semarang: Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng dan DIY.
- Irjan, dan Bukhori. 2011. Pemetaan Wilayah Rawan Bencana Berdasarkan Data ikroseismik menggunakan TDS. Malang: Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Kanai, K. 1983. *Seismology in Engineering*. Tokyo University: Japan.
- Kayal, J. R. 2008. *Microearthquake seismology and seismotectonics of south asia*. New York: Springer.
- Kumar, Praveen, and Foufoula, Efi. 1994. *Wavelet in Geophysics*. San Diego: Academic Press.
- Kusky, Timothy. 2008. *Earthquakes: Plate Tectonics and Earthquake Hazards*. New York: Infobase Publishing.
- Marsyelina, Merizka. 2014. *Karakteristik Mikrotremor dan Analisis Seismisitas pada Jalur Sesar Opak, Kabupaten Bantul, Yogyakarta*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Mirzaoglu, Mete. and Dýkmen, Ünal. 2003. *Application of microtremors to seismic microzoning procedure*. Balkan: *Jornal of the Balkan Geophysical*, Vol. 6, No. 3, p. 143 – 156
- Motamed, *et.al.*. 2007. *Seismic Microzonation and Damage Assesment of Bam City*. Southern Iran: *Journal of Earthquake Engineering*.
- Nakamura, Y. 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*. Japan: Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30, No.1.
- Nakamura, Y. 2000. *Real Time Information Systems for Seismic Hazards Mitigation UrEDAS, HERAS and PIC*. Japan: Quarterly Report of RTRI, Vol. 37, No. 3, 112-127.
- Nakamura, Y. 2008. *On the H/V Spectrum*. Beijing: The 14th World Conference on Earthquake Engineering.
- Natawidjaja, D. 2008. *Pedoman Analisis dan Bahaya dan Risiko Bencana Gempabumi*. Indonesia: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Pemda DIY. Geologi Yogyakarta. Diakses dari [http://www.jogjaprov.go.id/pemerintahan/kalender-kegiatan/view/geologi\\_pada\\_tanggal\\_12\\_Agustus\\_2016](http://www.jogjaprov.go.id/pemerintahan/kalender-kegiatan/view/geologi_pada_tanggal_12_Agustus_2016)
- Putri, Yanuarsih Tunggal. 2012. *Relokasi Gempabumi utama dan gempabumi susulan menggunakan metode MJHD (Studi Kasus Gempabumi Mentawai 25 Oktober 2010)*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Rahardjo, Wartono et a.al. 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

- SESAME. 2004. *Guidelines For the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Fibration*. Europe: SESAME Europe research project.
- Sheriff, R.E. 1995. *Exploration Seismology*. USA: Cambridge University.
- Slob, Siefko. 2007. *Micro Seismic Hazard Analysis*. Netherlands: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Sonjaya, Irman. 2008. *Pengenalan Gempabumi*. Yogyakarta: Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- Surono, Toha, B., dan Sudarno, I. 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta-Girintontro, Jawa, Skala 1 : 100.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- TAIDE. 2010. *TDV-23S feedback short-period seismometer operator's manual*. China: Zhuhai TAIDE Enterprise Co., Ltd.
- Telford, W.M. et al. 2004. *Aplied Geophysics, Second Edition*. New York: Cambridge University Press.
- Thomson. 2006. *Geology of the Oceans*. Utah: Cole Publishing Company.
- USGS. 2010. Diakses dari <https://www.usgs.gov/science/science-explorer?lq=faulting+%28geologic%29&classification=Web+Page> pada tanggal 20 juli 2016 pada pukul 20.15
- Utsu, T., 1965, *A method for determining the value of b in a formula  $\log N = a - bM$  showing the magnitude frequency for earthquakes*, Geophys. Bull. Hokkaido Univ., 13, 99–103.
- Wald, D.J, et. al. 1999. Relationship Between Peak Ground Acceleration, Peak ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California. *Earthquake Spectra*, 15, 557-56
- Waluyo. 2014. *Diktat Kuliah Seismologi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

**LAMPIRAN 1**  
**DATA HASIL PENELITIAN**

ID	Y (Latitude)	X (Longitude)	UTM		fo	A
			mT	mU		
B1	-7,89041	110,3857	432284,3	9127768	1,4732	3,66264
B2	-7,89723	110,3878	432518,8	9127015	2,77563	5,4331
B3	-7,89452	110,3873	432464,1	9127313	9,49252	4,48883
B4	-7,89691	110,3737	430959,8	9127047	3,34406	3,93722
B5	-7,9177	110,3728	430869,2	9124749	1,3674	3,01181
B6	-7,92628	110,3605	429517,6	9123798	2,77563	3,09234
B7	-7,91876	110,3531	428692,4	9124628	3,47101	2,07523
B8	-7,93981	110,354	428798,4	9122301	1,77489	2,57998
B9	-7,903	110,3649	429997,2	9126372	3,22175	4,03345
C1	-7,90308	110,3839	432089,4	9126366	2,881	3,90185
C9	-7,91589	110,3752	431131,8	9124949	3,22175	7,2883
C10	-7,91657	110,3761	431235	9124874	2,881	3,80338
D2	-7,96196	110,351	428470,6	9119851	1,91222	3,62266
D3	-8,00624	110,3394	427202,3	9114954	3,47101	3,3347
D5	-8,01398	110,2932	422106,4	9114089	1,13497	3,19944
D6	-7,9825	110,3112	424092,7	9117573	1,41931	6,11808
D7	-7,99417	110,2858	421287,3	9116279	1,60792	4,47386
D8	-7,97034	110,2984	422679,4	9118916	1,77489	3,31145
D9	-7,98448	110,2976	422589,3	9117352	0,649003	4,9316
1	-7,94651	110,3319	426361,8	9121556	2,5763	2,96457
4	-7,94447	110,3422	427498	9121784	1,41931	2,62635
5	-7,93772	110,3414	427415,1	9122530	1,17806	4,72265
9	-7,94703	110,3496	428317	9121502	3,47101	3,35473
11	-7,92806	110,3509	428460	9123599	3,10391	3,32621
13	-7,9205	110,359	429344,9	9124436	2,77563	3,1591
19	-7,91056	110,3595	429400,1	9125535	3,47101	3,744
23	-7,9471	110,3683	430377,8	9121497	1,84228	4,50446
24	-7,93646	110,3694	430493	9122674	2,39129	4,2119
25	-7,92772	110,3741	431012,9	9123641	3,34406	3,25458
26	-7,92033	110,3734	430939,5	9124458	2,77563	4,93464
28	-7,89748	110,3682	430360,1	9126983	3,73956	4,37463
34	-7,91089	110,3779	431433,9	9125502	5,03826	6,63228
35	-7,90147	110,3773	431361,6	9126544	2,48207	5,45064
37	-7,88339	110,3781	431445,4	9128543	3,47101	3,14863
43	-7,88383	110,3884	432579,1	9128495	2,06017	5,17091
48	-7,87477	110,395	433313,1	9129498	1,58718	4,12656
TA1	-7,98689	110,3241	425511,8	9117090	1,2692	1,64196

TA2	-7,99215	110,3265	425774,8	9116510	4,85398	3,05708
TA3	-7,98675	110,3248	425594,6	9117107	3,88153	1,37747
TA4	-7,97733	110,3437	427669,3	9118151	3,88153	3,04664
TA5	-7,96798	110,3526	428648,2	9119186	1,70998	5,70721
TA6	-7,96637	110,323	425382	9119359	1,22278	3,48525
TA7	-7,97456	110,3338	426575,3	9118455	1,3674	5,1103
TA8	-7,95797	110,3436	427661,3	9120291	1,01493	4,32146
TA9	-7,95102	110,3376	426994,7	9121059	0,942044	3,78423
TA10	-7,99984	110,2917	421949,1	9115653	0,518982	2,93715
TA11	-8,00954	110,3021	423093,5	9114583	1,13497	2,82455
1	-7,93932	110,3462	427937,8	9122354	1,2692	6,06742
2	-7,93971	110,3826	431956,7	9122317	18,5637	10,4866
3	-7,93942	110,3291	426049,9	9122339	2,77563	3,66482
4	-7,93963	110,3103	423986	9122313	1,91222	4,13161
5	-7,91887	110,3599	429450,8	9124617	0,580363	5,17992
6	-7,92116	110,3787	431523,6	9124367	2,77563	6,03152
7	-7,92077	110,3237	425459,1	9124400	0,699217	2,67174
8	-7,90277	110,3738	430978,8	9126399	1,98481	3,90015
9	-7,90441	110,4092	434873,9	9126224	13,2747	5,05991
10	-7,89987	110,3553	428931,5	9126717	3,88153	3,819
11	-7,88548	110,3878	432514,8	9128313	2,39129	3,77519
12	-7,88525	110,3695	430500,6	9128335	3,34406	3,4837
13	-7,88539	110,3519	428557,5	9128317	3,47101	4,09423
14	-7,86694	110,4012	433991,3	9130365	1,2692	4,59311
15	-7,86699	110,4198	436038,6	9130363	3,60279	5,67599
16	-7,85898	110,4438	438690,5	9131252	0,673642	1,65567
17	-7,86725	110,3831	431989,5	9130328	0,580363	3,74994
18	-7,86717	110,3647	429970,5	9130334	2,99038	3,1893
19	-7,84911	110,4256	436676	9132340	1,2692	7,40904
20	-7,8487	110,4464	438965,6	9132389	6,3005	4,61727
21	-7,84954	110,3919	432959,7	9132287	0,842411	4,51231
22	-7,8312	110,442	438486,4	9134322	1,09345	5,5955
23	-7,83075	110,4599	440451,3	9134375	11,0105	1,97325
24	-7,83105	110,4783	442489,3	9134345	0,781914	8,68702
25	-7,83131	110,4239	436491,8	9134307	1,22278	6,95831
26	-7,83101	110,405	434404,4	9134338	0,977808	4,50059
27	-7,81307	110,4556	439977,3	9136329	0,753315	10,868
28	-7,81402	110,4734	441938,8	9136227	4,67644	3,78169
29	-7,81245	110,4364	437867,7	9136394	1,01493	6,90116
30	-7,81236	110,4188	435918,4	9136402	0,649003	5,25803
31	-7,79441	110,4684	441386,3	9138394	0,602396	12,7954
32	-7,79489	110,4874	443481,8	9138343	0,602396	8,31028
33	-7,79894	110,5033	445238,4	9137898	17,8847	2,66826

34	-7,77656	110,4828	442971,1	9140369	1,77489	5,393
35	-7,7827	110,5147	446494,5	9139695	17,2306	3,76264
36	-7,77709	110,4463	438950,2	9140306	0,625266	6,61189
37	-7,75871	110,4967	444502,3	9142344	0,977808	6,96666
38	-7,75943	110,5324	448441,7	9142269	1,09345	5,3725
39	-7,75835	110,4602	440479,7	9142379	0,753315	5,62904

## LAMPIRAN 2

### Data Gempabumi di sekitar Kawasan Sesar Opak

No	Tanggal	Waktu	Lat	Long	Kedalaman	Magnitude
1	2016-01-17	04:49:59	-7.98382	110.384	10	3.0
2	2015-12-07	05:07:33	-7.8262	110.293	30	3.0
3	2015-11-11	11:45:26	-8.74726	110.134	50	5.8
4	2015-10-26	20:00:12	-7.93587	110.472	10	2.4
5	2015-10-19	23:53:26	-8.11515	110.23	10	3.4
6	2015-09-25	13:28:52	-7.90743	110.502	10	3.6
7	2015-09-22	00:49:51	-8.00784	110.414	10	2.8
8	2015-09-18	13:10:57	-7.92108	110.34	10	2.5
9	2015-07-21	23:30:38	-8.8737	109.775	20	4.7
10	2015-06-20	21:45:49	-7.98476	110.369	10	2.6
11	2015-05-31	22:15:08	-8.03022	110.366	10	2.8
12	2015-05-30	20:51:17	-8.83255	110.371	50	4.9
13	2015-05-28	06:05:44	-7.9775	110.403	10	3.4
14	2015-05-13	08:00:54	-8.30236	110.312	50	4.3
15	2014-10-28	15:36:24	-7.94727	110.275	10	3.0
16	2014-09-02	20:49:16	-7.9577	110.243	10	3.4
17	2014-07-24	19:52:33	-8.00535	110.26	10	2.8
18	2014-05-06	12:13:06	-7.99908	110.277	10	2.4
19	2014-04-27	07:13:53	-8.68383	109.767	20	4.0
20	2014-04-18	13:33:39	-9.11264	110.394	20	5.4
21	2014-04-02	11:21:55	-7.97658	110.474	10	3.4
22	2014-03-19	16:34:29	-8.8657	110.648	30	4.4
23	2014-03-16	14:53:55	-8.80714	110.842	10	5.0
24	2013-12-23	20:08:04	-8.06593	110.394	10	3.1
25	2013-12-18	09:46:42	-7.93644	110.38	10	3.0
26	2013-11-14	11:45:43	-8.03511	110.319	10	3.1
27	2013-08-11	07:05:10	-8.00783	110.295	10	1.8
28	2013-07-21	13:13:10	-7.92682	110.232	10	2.6
29	2013-06-13	16:47:23	-10.35	107.04	57	6.5
30	2013-03-21	15:51:20	-7.91634	110.283	20	1.7
31	2012-06-22	11:10:03	-7.91798	110.344	10	2.7
32	2012-06-14	14:54:13	-8.86252	110.339	10	4.7
33	2012-03-19	02:19:36	-7.94556	110.295	10	3.2
34	2012-02-21	11:07:48	-8.01027	110.395	0	2.8
35	2011-11-24	03:55:33	-8.91057	109.833	10	4.5
36	2011-11-16	14:36:58	-7.92787	110.372	10	3.0
37	2011-11-06	02:18:06	-8.02923	110.364	10	3.2
38	2011-11-06	09:18:05	-8.04	110.48	10	3.5
39	2011-10-07	03:15:00	-7.98	110.54	15	3.5

40	2011-10-06	20:15:01	-7.92762	110.208	20	2.2
41	2011-06-13	15:36:48	-8.18	110.76	15	4.7
42	2011-06-05	11:40:05	-8.01942	110.253	10	2.6
43	2011-05-21	06:39:49	-7.94595	110.338	10	2.4
44	2011-02-13	12:51:01	-8.0101	110.221	10	3.9
45	2010-10-10	20:05:32	-8.0084	110.42	10	3.0
46	2010-09-12	16:38:55	-8.1	110.37	10	5.0
47	2010-08-28	13:12:54	-7.93215	110.455	10	2.8
48	2010-08-21	11:41:37	-8.03	110.39	10	5.0
49	2010-03-11	11:27:16	-7.85875	110.328	10	4.0
50	2010-02-10	06:33:49	-9.16802	111.031	30	5.1
51	2010-01-27	20:39:13	-8.82296	110.807	17	5.2
52	2010-01-24	01:11:13	-7.96627	110.29	10	2.8
53	2010-01-06	18:48:50	-7.91159	110.329	10	2.3
54	2009-12-23	11:44:31	-8	110.21	10	3.1
55	2009-11-19	08:35:07	-8.84	110.66	20	4.7
56	2009-10-26	09:57:58	-7.99	110.44	10	3.1
57	2009-09-27	19:09:07	-7.94	110.26	20	2.7
58	2009-09-07	16:12:24	-10.14	110.98	30	5.3
59	2009-09-02	07:55:05	-8.54	107.69	30	6.4
60	2009-08-22	04:35:24	-8.04	110.37	10	3.5
61	2009-08-19	06:04:03	-8.77	109.38	10	3.3
62	2009-08-19	02:04:48	-8	110.21	10	3.9
63	2009-08-12	09:41:41	-8.05	110.28	10	3.0
64	2009-05-21	10:08:53	-8.01	110.33	10	3.1
65	2009-05-17	23:42:23	-7.87	110.5	10	2.5
66	2009-05-17	23:08:11	-7.97	110.43	10	3.2
67	2009-05-13	18:31:11	-8	110.23	10	3.4
68	2009-05-07	07:03:35	-9	110.16	30	4.2
69	2009-04-28	01:10:21	-7.96	110.41	10	3.4
70	2009-04-04	17:26:38	-8.03	110.35	10	3.0
71	2009-02-15	06:08:52	-7.7	110.36	20	2.8
72	2009-01-04	05:07:06	-7.8	110.27	20	2.6
73	2008-12-06	04:22:36	-8.94	110.34	10	3.3
74	2008-12-06	04:35:06	-9.01	110.39	10	3.2
75	2008-11-27	04:38:02	-8.02	110.4	10	3.0
76	2008-11-23	04:05:58	-7.93	110.43	10	2.0
77	2008-11-17	07:01:59	-8.71	110.4	20	4.1
78	2008-11-16	01:36:41	-8.81	110.19	20	4.5
79	2008-11-14	12:58:36	-8.02	110.3	10	2.3
80	2008-10-18	04:30:13	-7.95	110.36	10	2.1
81	2008-09-13	06:46:34	-8.03	110.34	10	3.2
82	2008-09-13	02:36:18	-7.93	110.1	10	1.7

83	2008-08-29	01:03:14	-8.01	110.35	10	2.8
84	2008-08-28	11:46:14	-7.96	110.23	10	2.0
85	2008-08-20	04:19:55	-8.78	110.44	10	4.8
86	2008-07-20	06:11:05	-9	111.24	10	5.9
87	2008-06-30	02:59:48	-7.95	110.4	10	2.5
88	2008-04-23	02:20:21	-7.88	110.37	20	2.7
89	2008-04-05	12:56:07	-7.89	110.42	10	2.1
90	2008-03-31	12:23:23	-8.04	110.47	10	3.2
91	2008-03-29	02:52:18	-8	110.32	10	2.7
92	2008-03-26	06:53:14	-8.47	110.24	20	4.1
93	2008-03-25	02:49:35	-7.95	110.24	10	2.8
94	2008-03-24	03:18:16	-7.95	110.22	10	3.4
95	2008-02-17	07:32:25	-8.01	110.28	10	3.0
96	2008-01-30	12:51:26	-8.01	110.27	15	3.4
97	2008-01-25	01:01:48	-8.96	110.35	30	4.3
98	2007-12-25	07:17:54	-7.97	110.15	10	2.0
99	2007-12-17	00:09:39	-10.2	111.24	30	5.3
100	2007-11-04	12:59:11	-7.91	110.26	20	2.4
101	2007-11-01	14:38:02	-8.49	110.87	30	3.6
102	2007-10-27	12:50:19	-7.99	110.52	10	2.2
103	2007-10-05	13:54:20	-7.87	110.36	20	2.9
104	2007-09-18	07:28:36	-7.99	110.2	10	2.8
105	2007-07-30	10:47:39	-8.02	110.41	10	2.8
106	2007-07-29	15:58:43	-7.96	110.16	10	2.7
107	2007-07-26	15:41:45	-8.01	110.23	10	2.8
108	2007-07-24	16:48:00	-8	110.2	10	3.2
109	2007-07-14	04:42:25	-7.98	110.19	10	2.5
110	2007-06-26	22:23:27	-9.61	110.54	30	3.7
111	2007-06-23	07:48:13	-9.09	110.13	50	4.8
112	2007-04-26	02:52:47	-8.03	110.19	10	3.9
113	2007-03-16	01:27:47	-8.01	110.27	10	2.8
114	2007-03-10	15:16:03	-8.01	110.2	10	2.8
115	2007-02-27	12:16:27	-7.94	110.34	20	3.0
116	2007-02-19	10:07:29	-8.03	110.21	10	2.6
117	2007-02-08	19:32:50	-7.94	110.22	10	3.1
118	2007-01-27	04:43:54	-7.99	110.23	10	2.9
119	2007-01-22	06:36:12	-8.03	110.21	10	3.1
120	2007-01-22	12:13:42	-8.05	110.25	10	2.7
121	2007-01-21	05:23:29	-7.96	110.26	10	2.3
122	2007-01-20	03:13:28	-8.05	110.08	10	2.7
123	2007-01-19	02:44:18	-10.25	109.69	30	5.8
124	2007-01-19	22:56:25	-8	110.2	10	3.4
125	2007-01-16	16:23:16	-7.94	110.4	10	2.5

126	2006-12-31	05:46:43	-8.52	110.2	30	4.2
127	2006-12-29	01:04:24	-7.98	110.39	10	2.5
128	2006-12-28	10:44:51	-7.91	110.44	10	3.0
129	2006-12-28	12:15:29	-7.93	110.25	10	3.0
130	2006-12-28	12:50:16	-7.91	110.26	10	9.9
131	2006-12-19	16:43:21	-7.88	110.29	10	2.5
132	2006-12-17	13:42:15	-7.92	110.22	10	2.4
133	2006-12-11	17:00:50	-8.04	110.25	10	2.8
134	2006-12-10	21:56:36	-7.97	110.18	10	3.0
135	2006-11-26	03:15:46	-7.98	110.35	10	2.7
136	2006-11-17	00:58:29	-9.57	110.62	150	5.2
137	2006-11-06	12:58:48	-8.89	109.95	30	4.0
138	2006-11-06	06:11:22	-8.99	109.66	40	4.2
139	2006-11-04	14:33:15	-8	110.22	10	2.1
140	2006-11-03	04:22:57	-7.93	110.26	10	2.2
141	2006-10-26	21:48:04	-8.02	110.25	10	3.0
142	2006-10-23	11:31:45	-7.98	110.21	10	2.6
143	2006-10-17	19:13:49	-8.03	110.23	10	3.0
144	2006-10-16	15:45:35	-7.95	110.3	10	2.8
145	2006-10-16	15:47:28	-7.92	110.38	10	2.4
146	2006-10-16	17:06:56	-7.94	110.35	10	2.3
147	2006-10-16	19:02:12	-7.98	110.4	10	2.2
148	2006-10-11	00:21:05	-8.03	110.18	10	2.3
149	2006-10-11	02:57:18	-8.02	110.27	10	3.2
150	2006-10-04	08:07:53	-8.05	110.26	10	3.5
151	2006-10-03	01:00:29	-8.25	110.33	20	3.7
152	2006-10-03	00:59:53	-7.93	110.14	10	2.6
153	2006-09-21	18:54:49	-9.34	110.39	33	5.7
154	2006-09-19	19:57:27	-7.63	110.44	10	2.4
155	2006-09-19	13:59:06	-9.25	107.66	30	6.7
156	2006-09-02	02:26:30	-7.95	110.25	10	2.4
157	2006-09-01	10:11:03	-8.01	110.28	10	3.7
158	2006-08-30	21:02:51	-7.96	110.33	10	1.7
159	2006-08-29	07:53:30	-7.96	110.38	10	2.2
160	2006-08-21	03:31:34	-7.98	110.21	10	1.8
161	2006-08-20	11:10:14	-7.71	110.33	10	0.9
162	2006-08-20	00:50:15	-8.02	110.26	10	2.5
163	2006-08-20	01:00:16	-8.02	110.29	10	3.0
164	2006-08-20	11:52:56	-7.92	110.48	10	1.7
165	2006-08-18	17:40:33	-7.64	110.37	10	3.7
166	2006-08-18	21:16:08	-8.01	110.23	10	2.8
167	2006-08-17	05:37:58	-7.64	110.38	10	2.0
168	2006-08-17	01:58:54	-8.02	110.37	10	1.7

169	2006-08-16	15:41:00	-7.74	110.37	10	0.7
170	2006-08-15	14:54:54	-7.78	110.39	10	1.0
171	2006-08-10	19:31:06	-8	110.22	10	2.7
172	2006-08-06	09:34:53	-8.1	110.41	10	2.9
173	2006-08-06	09:47:36	-8.06	110.5	10	2.7
174	2006-08-06	10:15:47	-8.08	110.52	10	2.5
175	2006-08-05	01:48:10	-7.93	110.28	10	2.5
176	2006-08-02	04:01:56	-7.98	110.26	10	3.1
177	2006-08-02	08:35:14	-8	110.27	10	3.4
178	2006-07-29	18:15:00	-7.97	110.21	10	2.4
179	2006-07-28	13:01:48	-9.28	106.96	30	4.9
180	2006-07-18	00:28:01	-9.76	109.07	30	3.9
181	2006-07-18	03:04:51	-7.96	110.44	10	2.8
182	2006-07-18	00:15:25	-9.87	109.48	30	5.2
183	2006-07-17	15:46:40	-10.26	109.65	30	5.5
184	2006-07-14	00:13:31	-8	110.21	10	2.2
185	2006-07-13	21:44:28	-8.03	110.2	10	2.0
186	2006-07-09	09:15:05	-7.99	110.23	10	2.2
187	2006-07-09	09:37:45	-7.96	110.21	10	1.7
188	2006-07-09	15:06:07	-8.02	110.25	10	2.7
189	2006-07-09	15:06:36	-8.04	110.14	10	3.2
190	2006-07-08	19:39:50	-10.46	110.71	30	3.6
191	2006-07-08	16:22:16	-9.57	110.75	30	3.1
192	2006-07-06	00:37:36	-7.99	110.24	10	2.1
193	2006-07-06	00:58:10	-8.04	110.24	10	3.2
194	2006-07-05	21:59:58	-8.01	110.18	10	2.7
195	2006-07-05	21:05:08	-8.01	111.01	30	3.2
196	2006-07-04	02:32:46	-7.94	110.21	10	1.8
197	2006-07-03	09:57:50	-7.94	110.25	10	1.3
198	2006-07-01	17:18:10	-8.03	110.41	10	2.3
199	2006-07-01	18:49:28	-7.86	110.19	10	1.6
200	2006-06-30	11:33:52	-7.88	110.42	10	1.9
201	2006-06-30	00:11:04	-8.09	110.35	10	2.6
202	2006-06-30	00:22:24	-8.2	110.43	30	3.7
203	2006-06-30	14:53:23	-7.96	110.26	10	2.2
204	2006-06-30	21:26:54	-7.9	110.25	10	1.0
205	2006-06-29	11:48:19	-7.82	110.47	10	1.5
206	2006-06-29	20:29:27	-7.82	110.53	10	1.9
207	2006-06-29	13:38:22	-7.96	110.28	10	2.0
208	2006-06-28	04:01:17	-8	110.42	10	2.5
209	2006-06-28	03:03:24	-7.82	110.49	10	2.1
210	2006-06-28	04:41:54	-7.93	110.39	10	1.7
211	2006-06-28	14:38:59	-7.95	110.38	10	1.8

212	2006-06-28	22:53:55	-7.91	110.39	10	2.0
213	2006-06-27	12:35:19	-7.91	110.46	10	2.1
214	2006-06-27	01:35:55	-8.01	110.28	10	2.2
215	2006-06-27	08:49:05	-7.95	110.27	10	1.2
216	2006-06-26	00:44:23	-7.09	110.34	10	2.7
217	2006-06-26	02:55:16	-7.93	110.37	10	2.1
218	2006-06-26	04:33:35	-7.98	110.31	10	2.3
219	2006-06-26	20:23:35	-7.99	110.19	10	2.6
220	2006-06-25	00:12:28	-7.94	110.4	10	2.1
221	2006-06-25	23:32:04	-7.93	110.37	10	1.5
222	2006-06-24	10:06:13	-8	110.37	10	3.4
223	2006-06-24	12:01:42	-7.95	110.35	10	2.0
224	2006-06-24	12:33:01	-7.93	110.44	10	2.7
225	2006-06-24	16:38:36	-7.9	110.41	10	3.0
226	2006-06-24	18:39:14	-7.93	110.41	10	2.6
227	2006-06-24	18:46:55	-7.94	110.41	10	2.4
228	2006-06-24	19:10:40	-7.93	110.41	10	1.9
229	2006-06-24	16:47:15	-8.28	109.86	30	2.1
230	2006-06-24	17:40:56	-8.24	109.78	30	3.3
231	2006-06-24	19:33:33	-7.95	110.26	10	1.6
232	2006-06-22	20:59:14	-8.03	110.28	10	2.5
233	2006-06-22	13:20:40	-7.95	110.32	10	2.1
234	2006-06-22	23:18:28	-7.97	110.32	10	2.5
235	2006-06-21	07:11:08	-8.56	110.46	33	4.5
236	2006-06-19	08:46:58	-7.65	110.24	10	2.3
237	2006-06-19	09:23:52	-7.64	110.28	10	2.0
238	2006-06-19	08:29:20	-7.64	110.34	10	2.4
239	2006-06-19	10:18:54	-7.69	110.41	10	1.7
240	2006-06-19	01:58:48	-7.99	110.23	10	1.7
241	2006-06-19	09:32:51	-8.01	110.25	10	2.8
242	2006-06-19	21:26:01	-7.95	110.21	10	2.2
243	2006-06-16	19:11:41	-8.02	110.34	10	3.3
244	2006-06-15	12:50:51	-7.99	110.24	10	2.6
245	2006-06-15	11:40:50	-7.96	110.2	10	2.5
246	2006-06-14	05:21:21	-8.02	110.2	10	2.2
247	2006-06-13	20:58:58	-8.09	110.43	10	2.5
248	2006-06-13	22:16:55	-8.08	110.53	10	3.0
249	2006-06-13	06:17:10	-7.97	110.44	10	2.9
250	2006-06-13	19:54:19	-7.91	110.26	10	1.9
251	2006-06-13	18:14:44	-7.73	110.34	20	2.6
252	2006-06-12	11:05:31	-7.99	110.37	10	2.7
253	2006-06-06	19:58:05	-7.12	110.27	20	2.4
254	2006-06-05	08:12:58	-8.31	110.36	10	4.0

255	2006-06-04	19:53:37	-8.05	110.17	10	1.9
256	2006-06-04	13:16:34	-7.94	110.34	10	1.8
257	2006-06-03	22:04:32	-7.96	110.36	10	2.2
258	2006-06-03	17:28:15	-87.05	110.2	10	2.1
259	2006-06-03	08:46:33	-7.6	110.37	10	3.2
260	2006-06-03	11:55:40	-8.04	110.24	10	2.9
261	2006-06-02	19:35:13	-7.99	110.38	10	2.4
262	2006-06-02	21:31:49	-8.01	110.28	10	2.6
263	2006-06-02	21:32:47	-7.97	110.23	10	2.9
264	2006-06-02	16:45:39	-8.03	110.21	10	3.3
265	2006-06-02	02:40:33	-7.7	110.47	10	2.0
266	2006-05-31	03:44:42	-8.11	110.3	30	2.9
267	2006-05-31	05:57:57	-8.3	110.26	20	2.7
268	2006-05-30	00:03:47	-7.94	110.09	10	2.6
269	2006-05-30	02:28:43	-8.05	110.49	10	2.4
270	2006-05-30	02:45:49	-8.07	110.49	10	2.5
271	2006-05-30	04:04:15	-8	110.21	10	2.6
272	2006-05-30	04:21:44	-8.16	110.45	20	2.6
273	2006-05-30	04:44:45	-7.93	110.24	20	2.3
274	2006-05-30	02:45:47	-8.13	110.64	10	2.9
275	2006-05-30	01:21:23	-8.32	110.07	10	2.7
276	2006-05-30	02:58:47	-7.99	110.54	10	2.4
277	2006-05-30	04:44:46	-7.97	110.21	10	2.5
278	2006-05-29	14:07:24	-8.01	110.23	10	2.6
279	2006-05-29	14:13:26	-7.99	110.47	10	3.3
280	2006-05-29	14:13:25	-8.02	110.54	10	3.5
281	2006-05-29	05:54:35	-8.14	110.31	10	2.8
282	2006-05-29	23:10:11	-8.03	110.39	10	2.3
283	2006-05-29	04:51:02	-7.97	110.25	10	2.4
284	2006-05-29	08:59:06	-7.93	110.23	10	2.4
285	2006-05-29	09:50:10	-7.94	110.25	10	2.3
286	2006-05-29	10:21:18	-7.95	110.25	10	2.7
287	2006-05-28	01:03:12	-8.01	110.43	10	2.6
288	2006-05-28	01:29:37	-7.63	110.39	10	2.5
289	2006-05-28	03:43:33	-8.07	110.62	30	2.6
290	2006-05-28	06:01:33	-8.03	110.31	10	2.9
291	2006-05-28	04:17:26	-8.07	110.2	20	2.7
292	2006-05-28	04:29:47	-8.31	110.17	30	2.9
293	2006-05-28	05:20:43	-8.02	110.24	10	2.4
294	2006-05-28	09:52:19	-8	110.42	10	2.3
295	2006-05-28	15:19:32	-8.11	110.23	30	2.7
296	2006-05-28	15:28:50	-8.25	110.02	30	2.4
297	2006-05-28	16:01:07	-8.03	110.22	10	3.2

298	2006-05-28	20:44:50	-8.05	110.32	10	2.3
299	2006-05-28	22:36:05	-8.45	110.27	30	2.6
300	2006-05-27	00:48:45	-7.67	110.45	10	2.7
301	2006-05-27	02:29:32	-9.34	110.27	30	2.8
302	2006-05-27	02:50:49	-8.46	110.3	10	2.8
303	2006-05-27	03:49:40	-8	110.24	10	2.4
304	2006-05-27	04:03:39	-8.01	110.28	10	2.7
305	2006-05-27	04:12:12	-7.94	110.17	10	2.5
306	2006-05-27	04:21:50	-8.04	110.27	10	3.9
307	2006-05-27	04:27:44	-7.99	110.59	10	3.3
308	2006-05-27	04:38:37	-7.97	110.23	10	2.6
309	2006-05-27	09:24:14	-7.93	110.27	10	2.6
310	2006-05-27	12:06:13	-7.95	110.19	10	2.3
311	2006-05-27	12:57:38	-7.64	110.18	10	3.1
312	2006-05-27	13:03:05	-7.67	110.38	10	2.3
313	2006-05-27	14:06:12	-7.53	110.67	20	2.7
314	2006-05-27	19:11:36	-7.68	110.36	10	2.8
315	2006-05-27	04:53:10	-7.94	110.45	10	2.9
316	2006-05-27	05:41:57	-7.9	110.33	10	2.1
317	2006-05-27	08:06:17	-8.62	109.15	30	3.4
318	2006-05-27	08:13:37	-8.71	109.95	30	3.0
319	2006-05-27	12:36:33	-8	110.32	10	2.8
320	2006-05-27	00:24:19	-8.03	110.36	10	2.3
321	2006-05-27	01:05:39	-8.16	110.31	10	2.5
322	2006-05-27	03:10:04	-7.93	110.3	20	3.3
323	2006-05-27	05:41:50	-8.17	110.32	30	3.2
324	2006-05-27	06:40:09	-7.65	110.3	10	2.3
325	2006-05-27	12:36:20	-8.57	110.89	20	4.4
326	2006-05-27	12:57:32	-8.25	110.31	30	3.7
327	2006-05-27	00:11:41	-8.24	110.3	10	2.5
328	2006-05-27	00:23:07	-8.7	109.75	20	3.4
329	2006-05-27	00:52:09	-7.91	110.41	10	2.4
330	2006-05-27	00:55:15	-8.32	110.03	10	2.6
331	2006-05-27	01:07:41	-7.94	110.28	20	2.4
332	2006-05-27	04:03:38	-8.04	110.24	10	2.9
333	2006-05-27	09:07:18	-8.04	110.25	10	2.9
334	2006-05-27	09:17:23	-7.59	110.39	10	2.5
335	2006-05-27	09:24:11	-7.95	110.28	30	2.6
336	2006-05-27	09:54:38	-8.12	110.31	30	3.6
337	2006-05-27	14:07:58	-7.69	110.38	10	2.3
338	2006-05-27	18:32:02	-8.09	110.24	0	3.6
339	2006-05-27	18:57:18	-8.09	110.25	10	3.5
340	2006-05-27	19:11:34	-8.04	110.24	10	3.2

341	2006-05-27	23:44:44	-7.66	110.32	10	2.3
342	2006-05-27	00:45:39	-8	110.23	10	2.9
343	2006-05-27	01:45:39	-7.54	110.3	10	2.4
344	2006-05-27	01:49:08	-7.63	110.32	10	2.3
345	2006-05-27	05:29:03	-7.64	110.33	10	2.7
346	2006-05-27	20:43:16	-8	110.3	10	2.5
347	2006-05-27	00:11:44	-8	110.22	20	2.6
348	2006-05-27	07:23:28	-7.7	110.37	10	2.5
349	2006-05-27	07:48:28	-7.62	110.34	10	2.6
350	2006-05-27	09:54:43	-7.67	110.38	10	2.9
351	2006-05-27	10:00:19	-7.65	110.34	10	2.3
352	2006-05-27	10:51:11	-8.01	110.39	10	2.5
353	2006-05-27	11:28:34	-8	110.26	10	2.4
354	2006-05-27	14:00:51	-8.41	110.13	10	4.1
355	2006-05-27	14:59:22	-7.95	110.23	10	2.5
356	2006-05-27	17:31:00	-7.97	110.29	10	2.3
357	2006-05-27	18:32:03	-7.93	110.26	10	2.7
358	2006-05-27	18:57:20	-7.91	110.29	10	2.5
359	2006-05-26	22:53:58	-8.03	110.32	33	5.9
360	2006-05-26	23:31:36	-7.69	110.39	10	2.3
361	2006-05-26	23:01:09	-7.89	110.3	10	1.7
362	2006-05-26	23:17:17	-7.97	110.3	10	2.3
363	2006-05-26	23:00:32	-7.97	110.28	10	2.8
364	2006-05-26	23:19:30	-7.98	110.19	10	2.9
365	2006-05-26	23:21:27	-7.98	110.25	10	2.6
366	2006-04-06	07:36:47	-8.63	110.24	50	4.1

### LAMPIRAN 3

#### Perhitungan *b-value*

Contoh perhitungan *b-value* pada zona pertama menggunakan persamaan (3)

Nilai-*b*

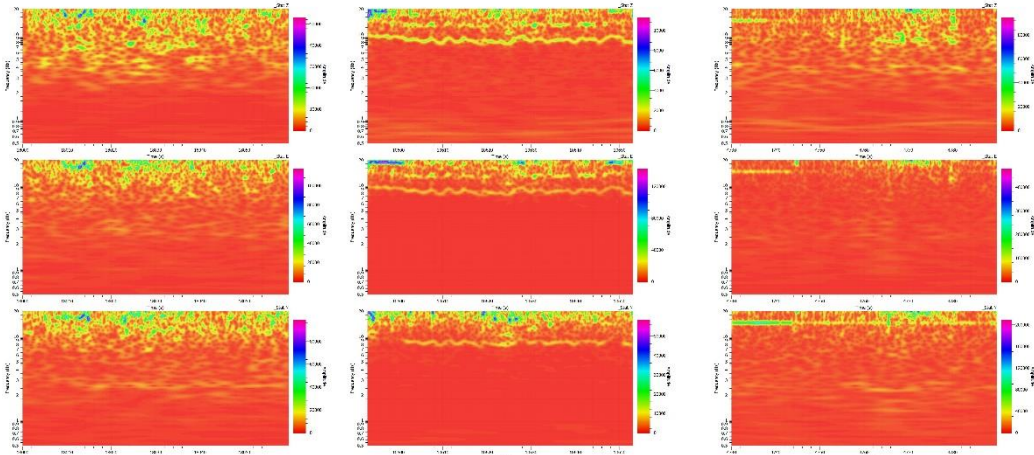
$$b = \frac{\log e}{\bar{M} - M_{min}} = \frac{0.4343}{\bar{M} - M_{min}} = \frac{0,4343}{4,4 - 2,4} = 1,447$$

mU	mT	B-value
436064,86	9128923,9	4,343
434967,19	9125605,7	1,447667
434971,9	9122289	4,343
432762,61	9125602,5	0,9306429
431666,91	9121178,6	0,668154
432773,99	9117863,5	1,04232
428365,55	9117856,8	1,240857
428370,79	9114540	1,184455
428360,34	9121173,5	0,675578
427693,43	9124712,5	1,861286
429448,94	9130019,9	4,343
426038,86	9125416,4	4,343
424959,08	9111758,3	0,34744
425062,85	9115640,3	2,6058
425057,38	9118957	0,930643
425053,75	9121168,2	2,895333
422309,16	9114769,9	0,603194
421750,93	9118951,5	0,987045
422297,4	9121654,5	0,965111
420660,38	9112316	1,08575

## LAMPIRAN 4

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

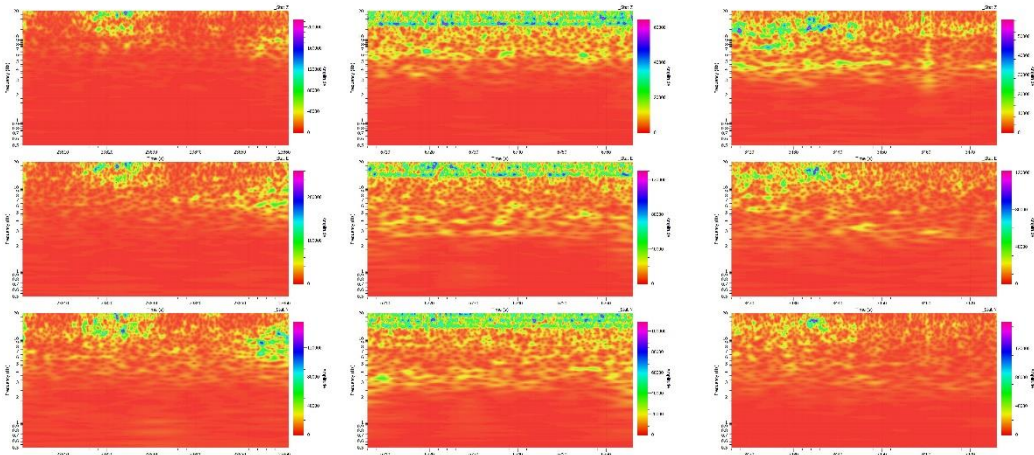
#### 1. Zona Pertama



Titik 1

Titik 2

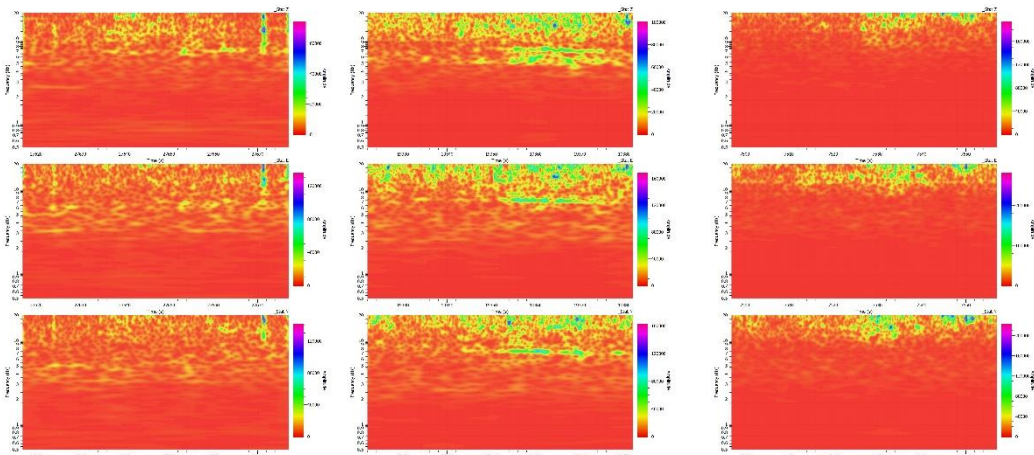
Titik 4



Titik 5

Titik 6

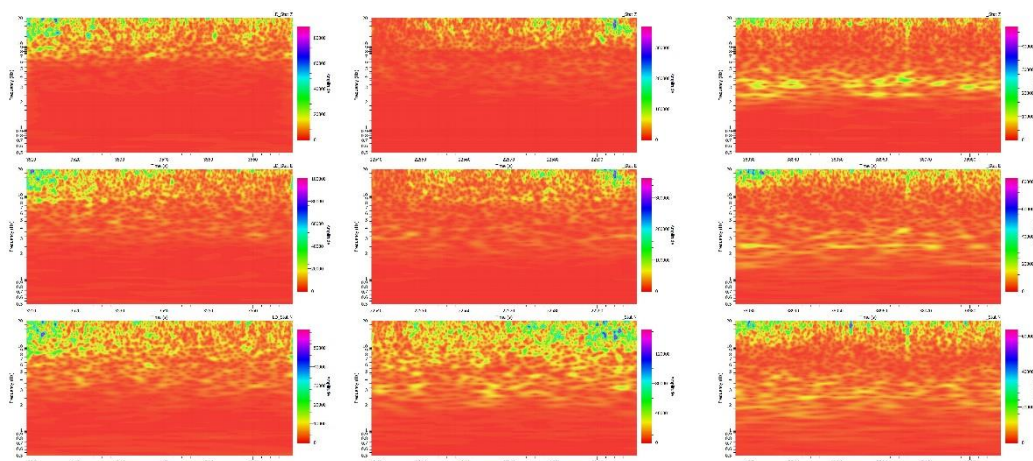
Titik 8



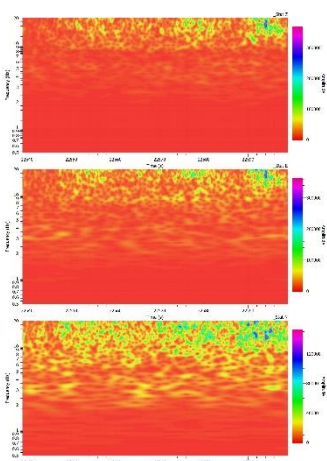
Titik 10

Titik 11

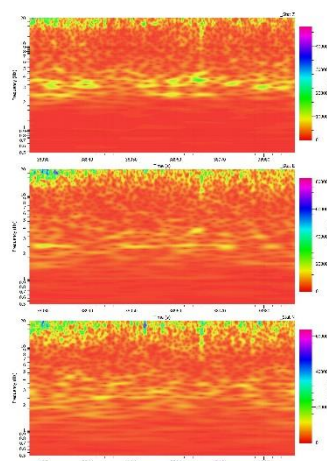
Titik 12



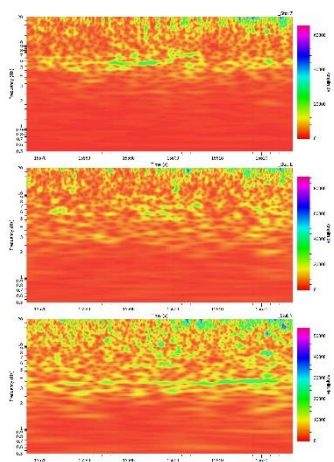
Titik 13



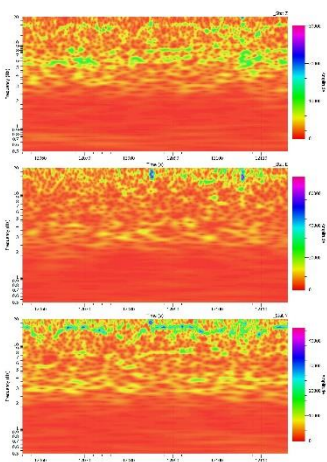
Titik 14



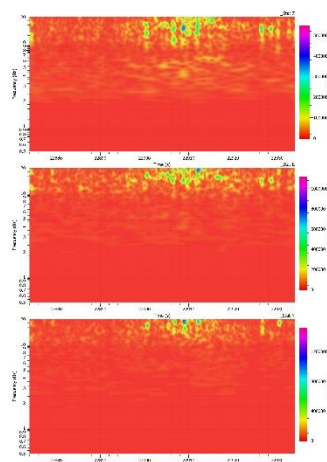
Titik 19



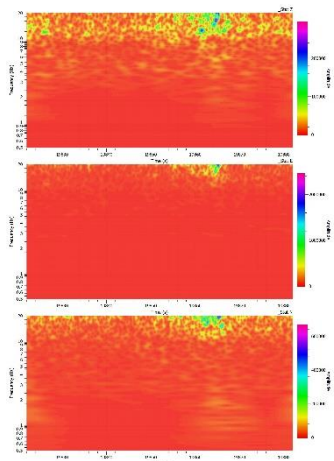
Titik 17



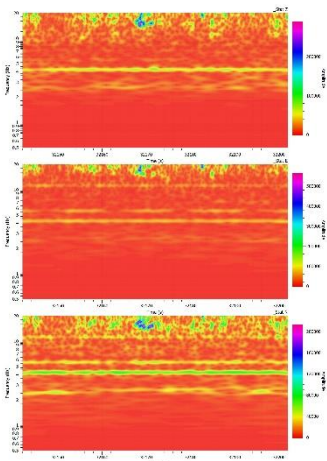
Titik 18



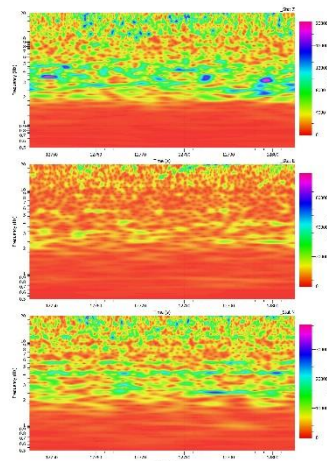
Titik 24



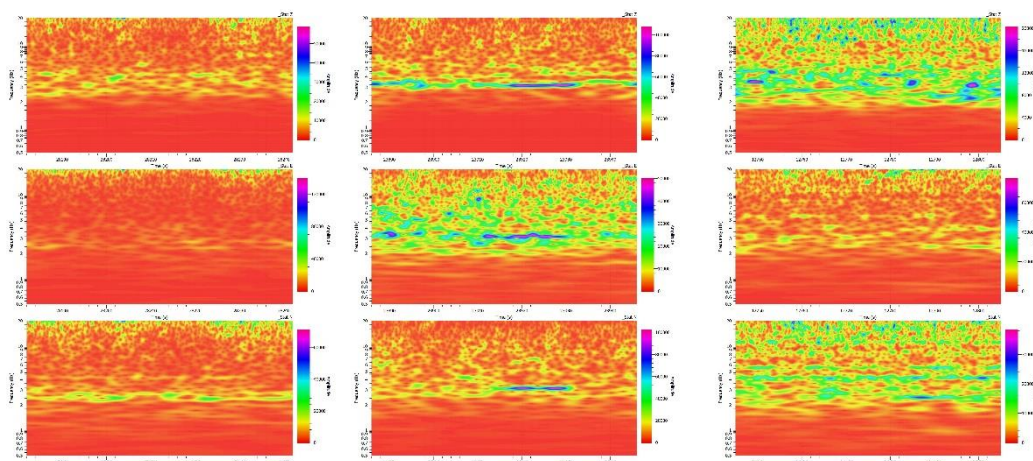
Titik 21



Titik 22



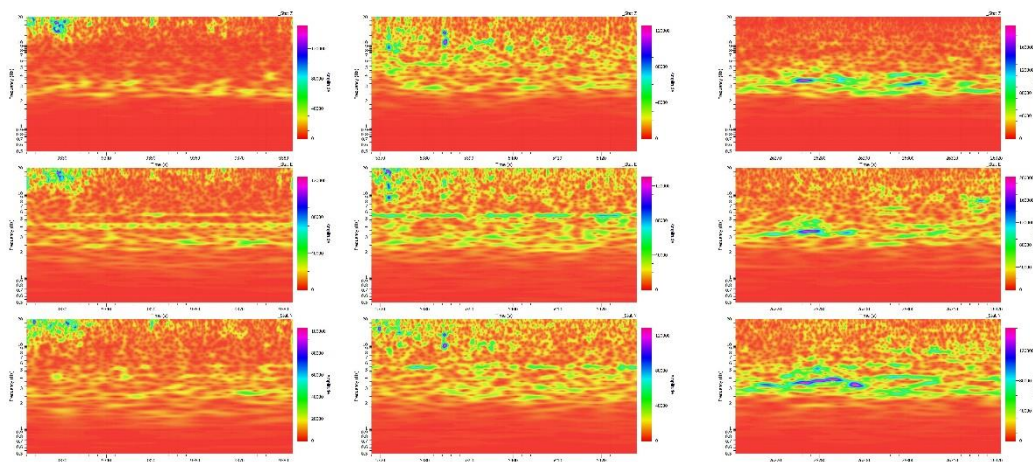
Titik 27



Titik 25

Titik 26

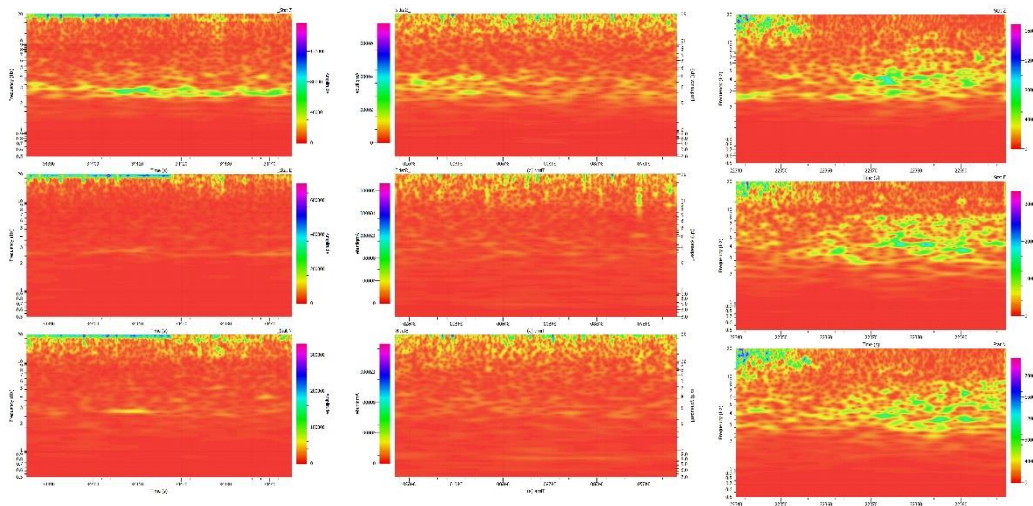
Titik 27



Titik 29

Titik 30

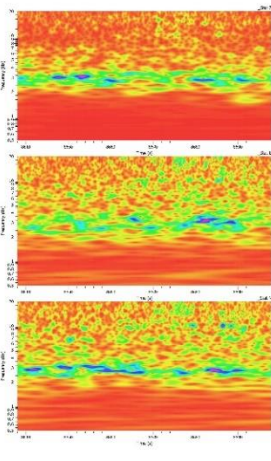
Titik 37



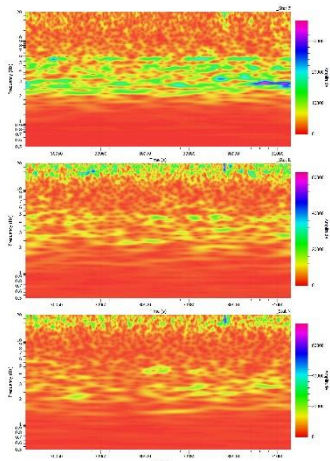
Titik 36

Titik 32

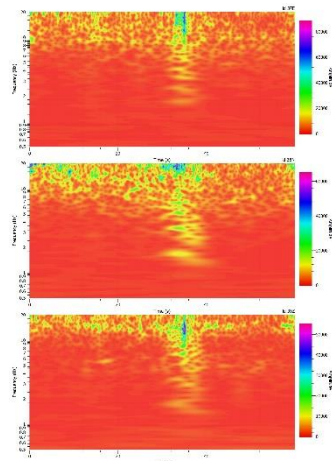
Titik 38



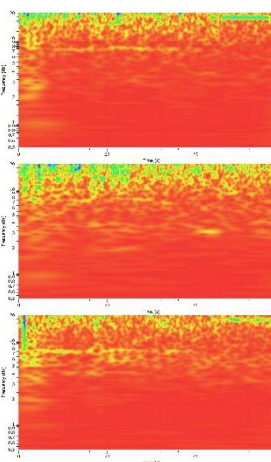
Titik 31



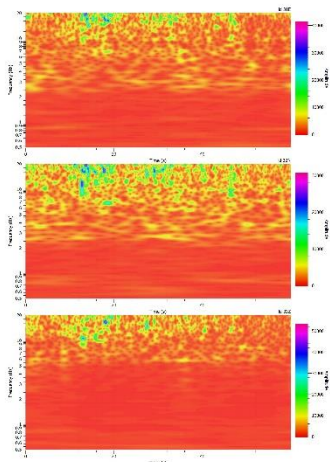
Titik 39



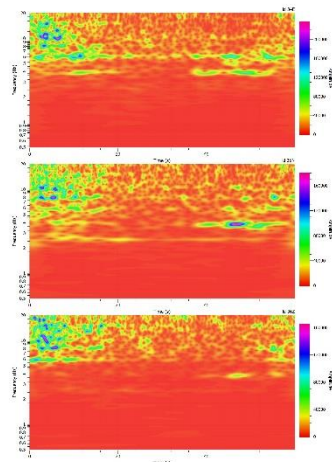
Titik B3



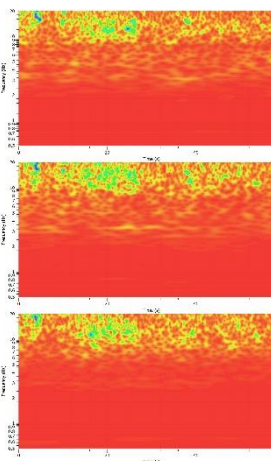
Titik B1



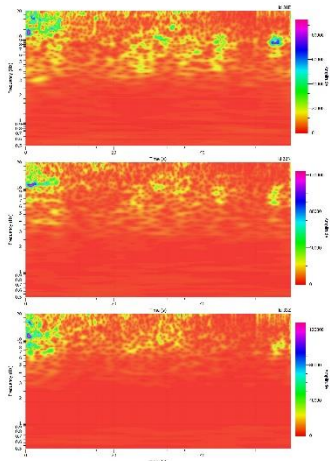
Titik B2



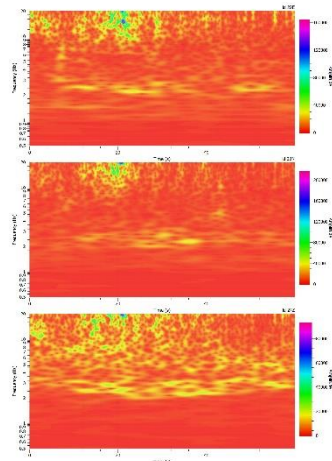
Titik C1



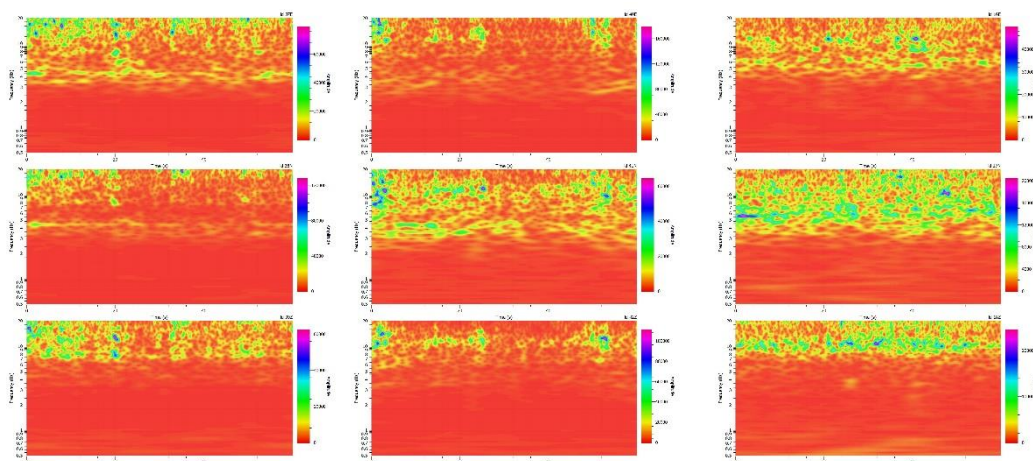
Titik B4



Titik B9



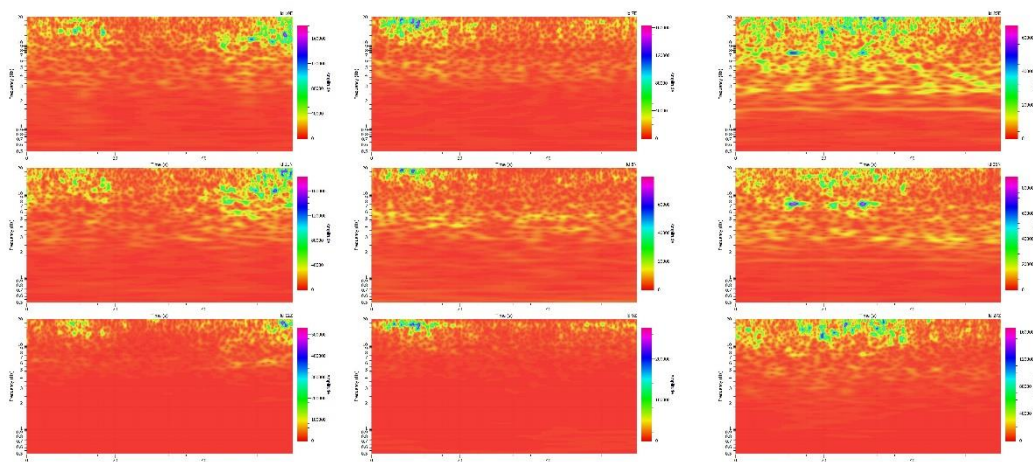
Titik D6



Titik C9

Titik C10

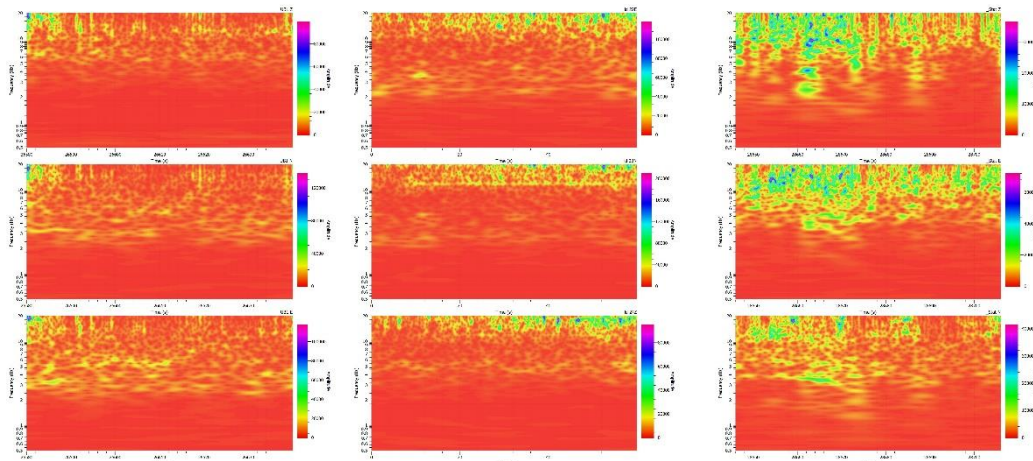
Titik T34



Titik T11

Titik T19

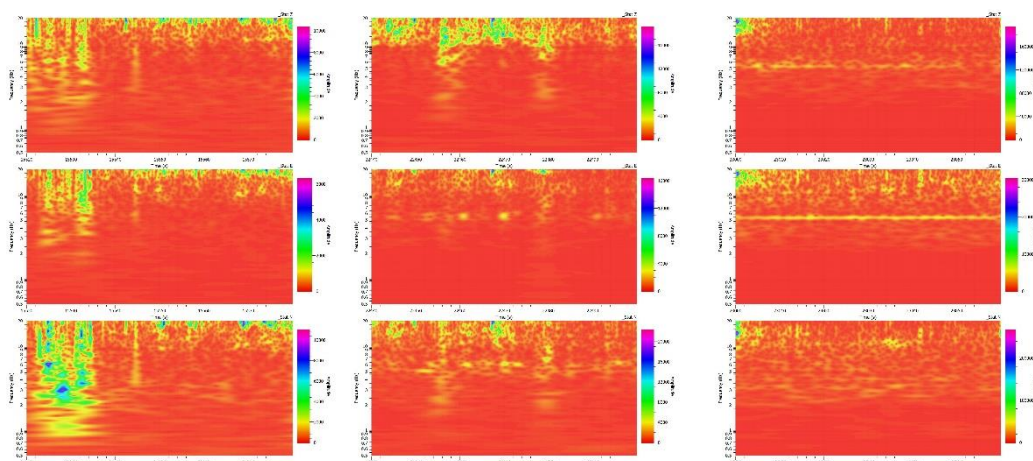
Titik T48



Titik T35

Titik T43

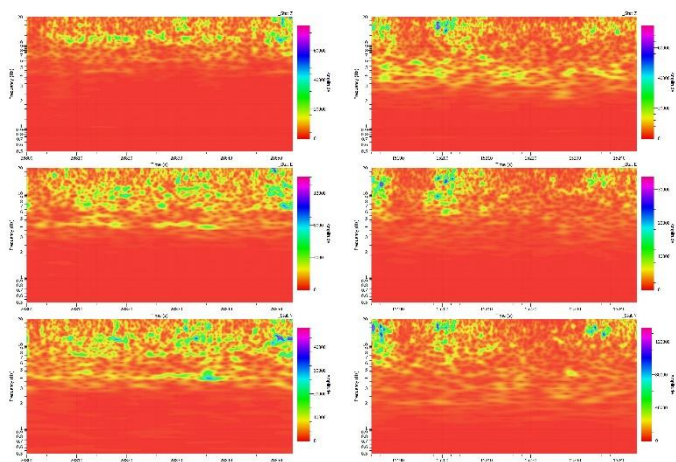
Titik TA3



Titik TA1

Titik TA2

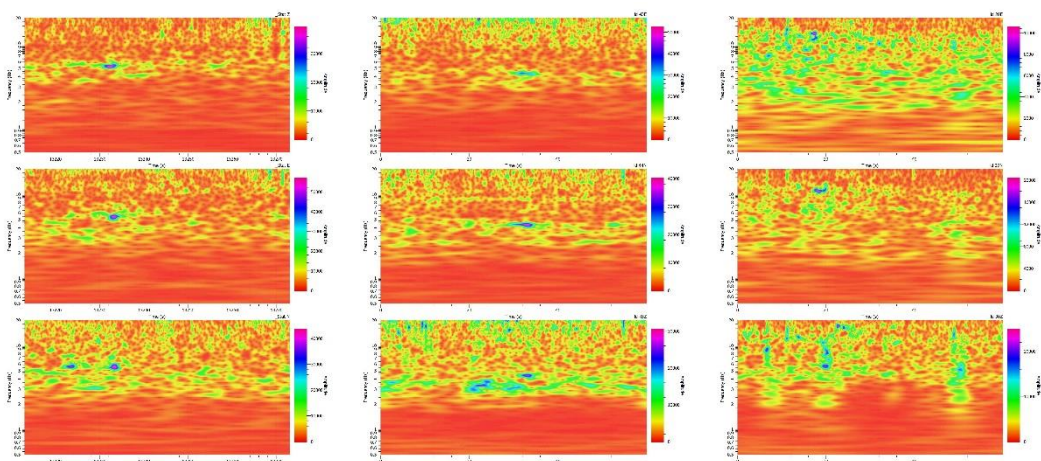
Titik TA9



Titik TA4

Titik TA7

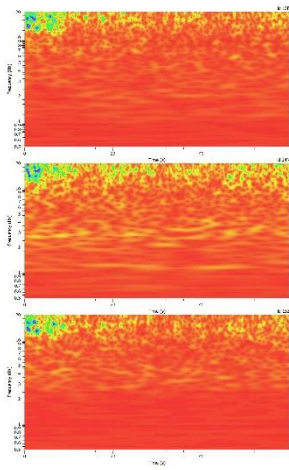
**2. Zona Kedua**



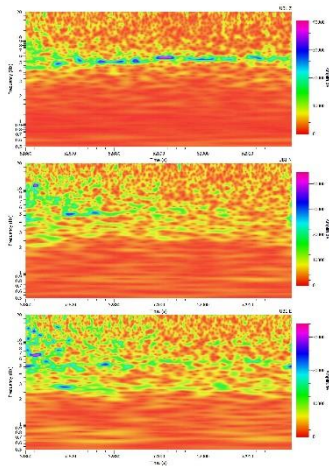
Titik 3

Titik B5

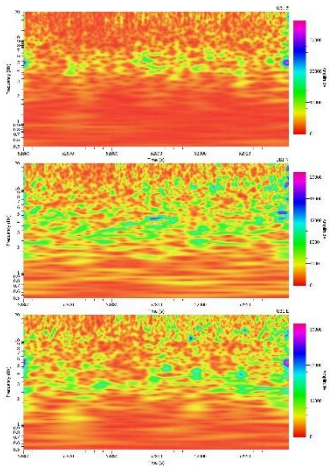
Titik B8



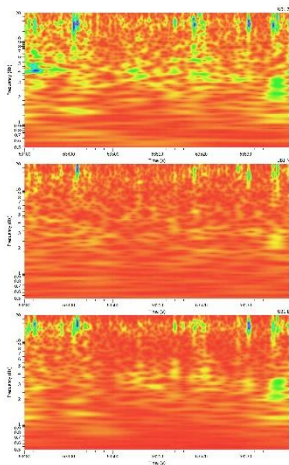
Titik D2



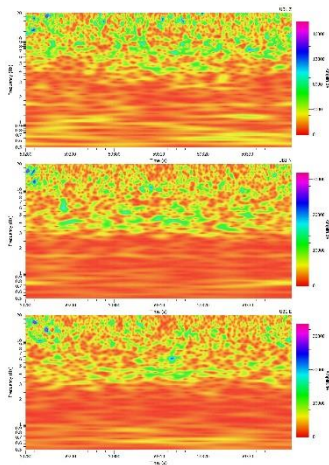
Titik T1



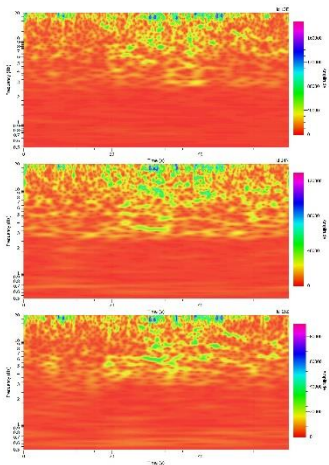
Titik T4



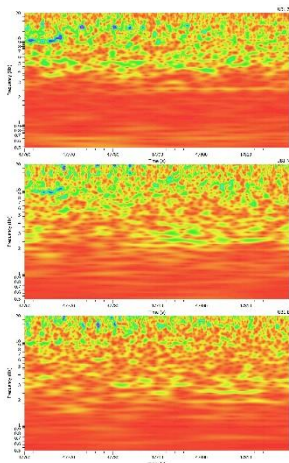
Titik T5



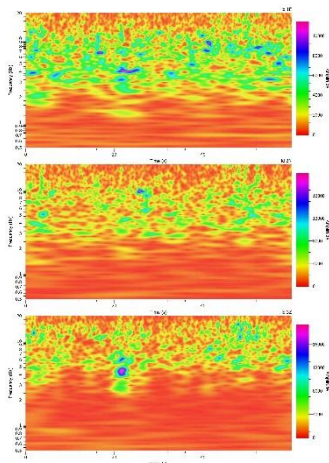
Titik T9



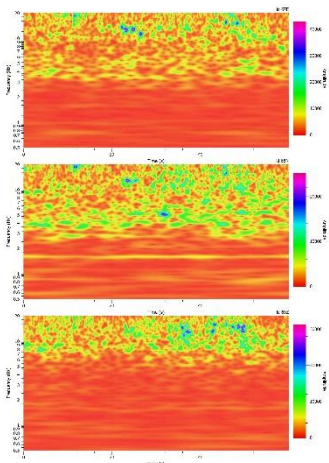
Titik T13



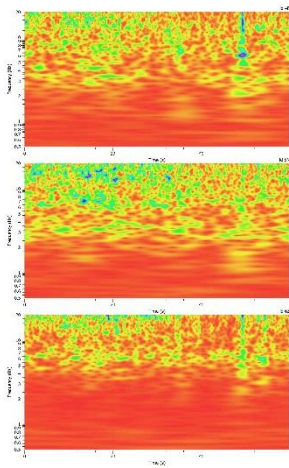
Titik T23



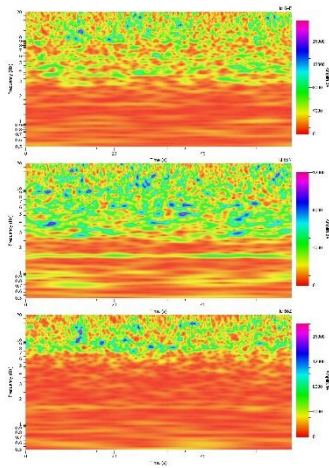
Titik T24



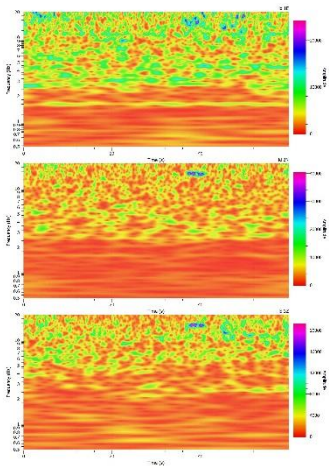
Titik T25



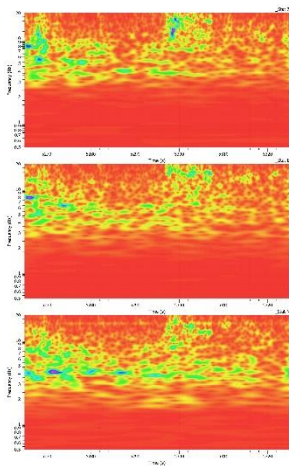
Titik T26



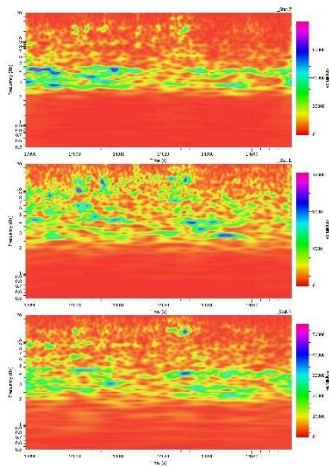
Titik T28



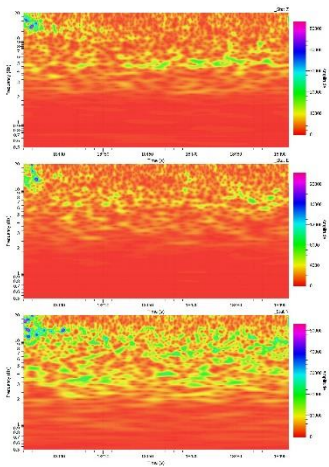
Titik T37



Titik TA5

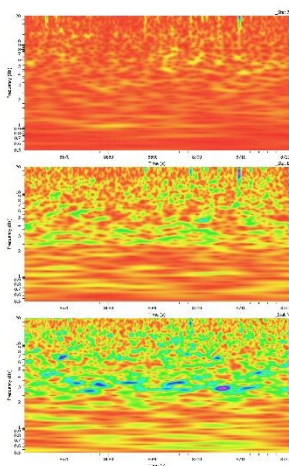


Titik TA6

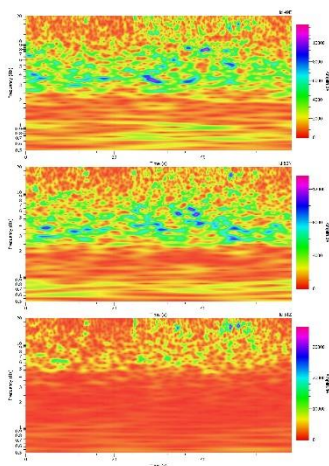


Titik TA8

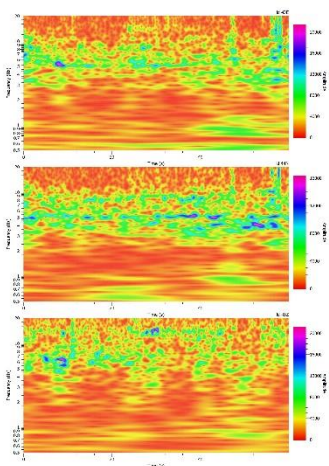
### 3. Zona Ketiga



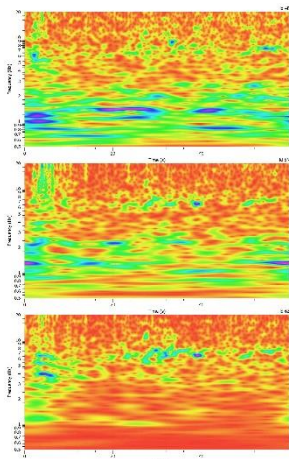
Titik 7



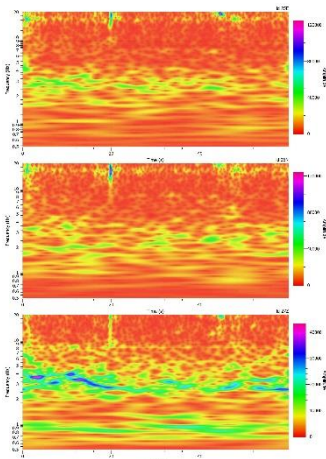
Titik B6



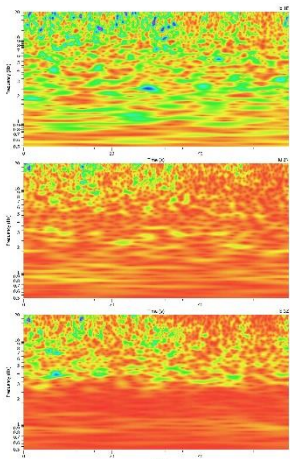
Titik B7



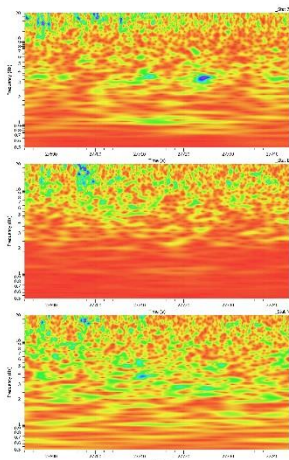
Titik D9



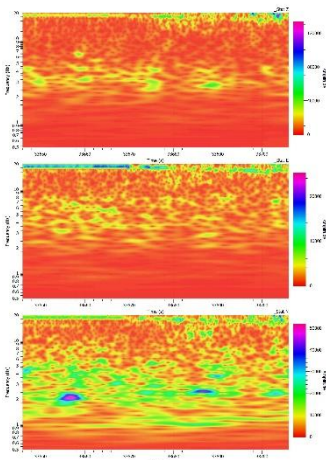
Titik D7



Titik D8

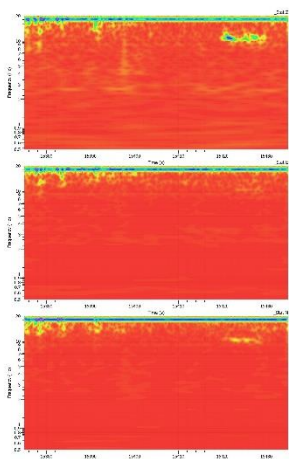


Titik TA 10

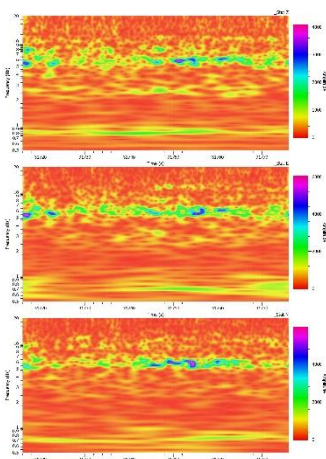


Titik TA 11

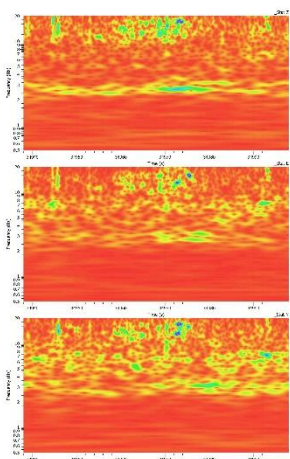
#### 4. Zona Semilir



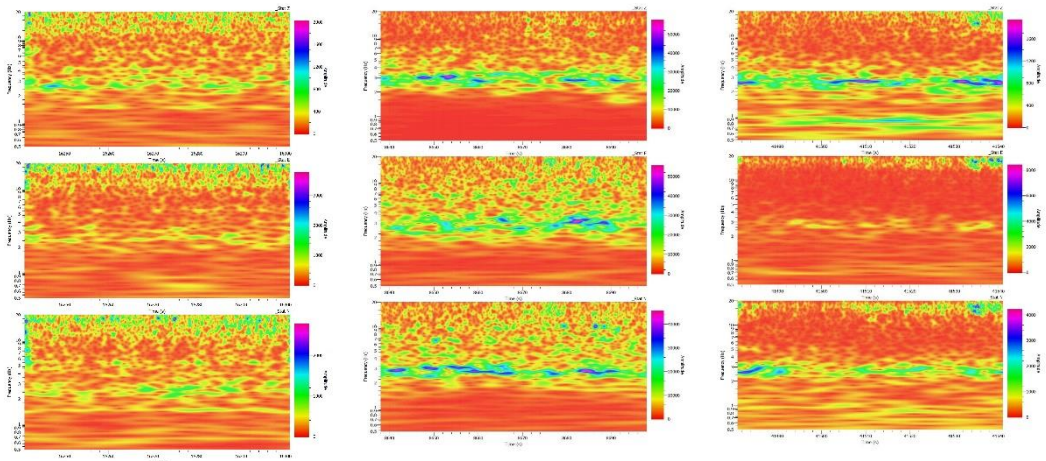
Titik 9



Titik 16



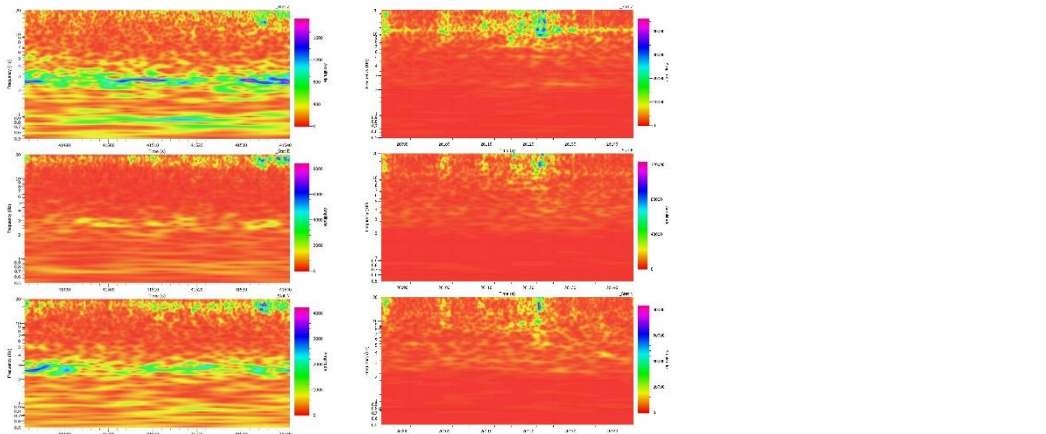
Titik 20



Titik 23

Titik 28

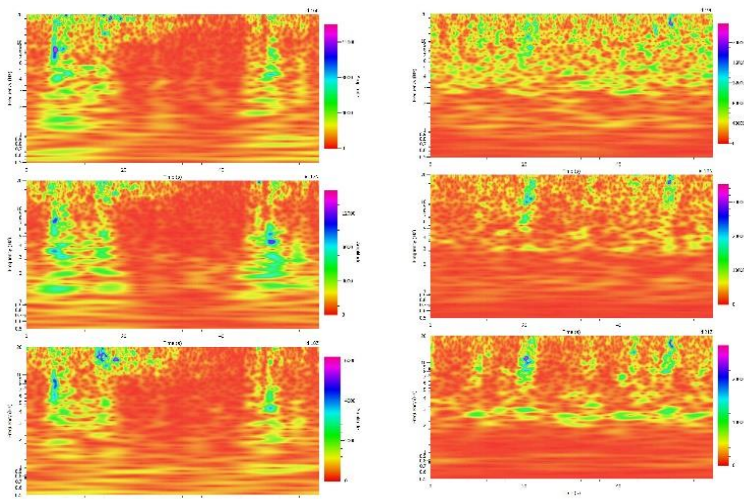
Titik 33



Titik 34

Titik 15

## 5. Zona Wonosari dan Tanah Aluvium



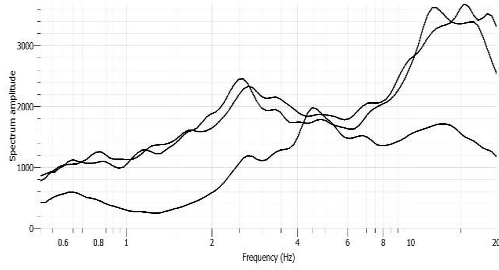
Titik D3

Titik D5

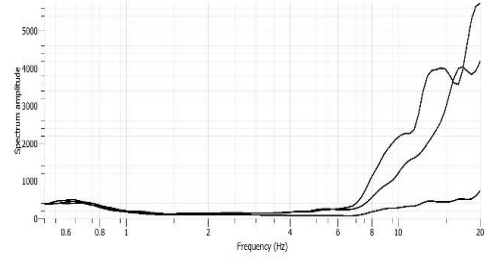
# LAMPIRAN 5

## KURVA SPEKTRUM

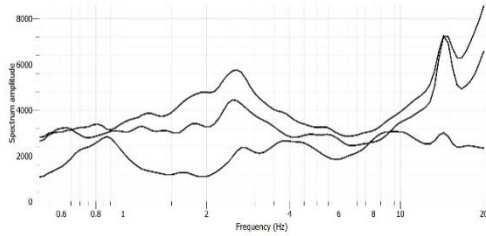
### 1. ZONA PERTAMA



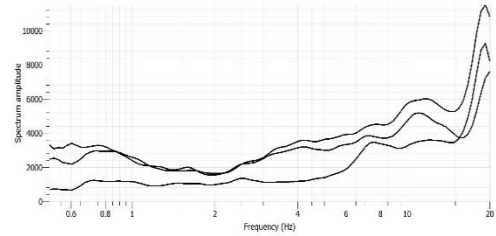
Titik 1



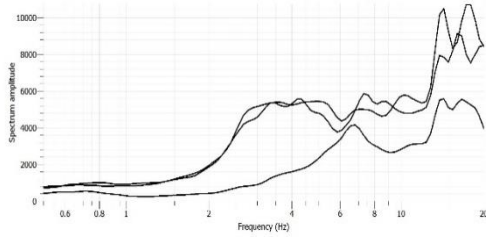
Titik 2



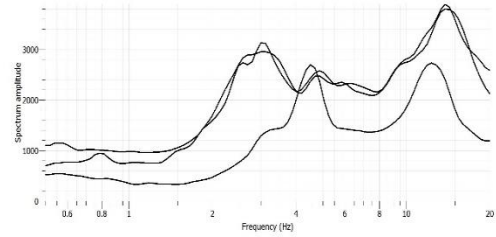
Titik 4



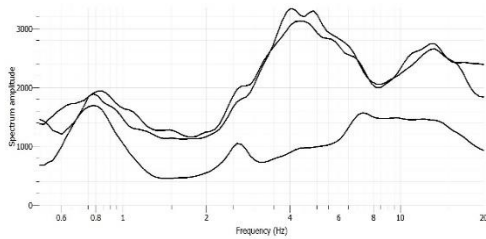
Titik 5



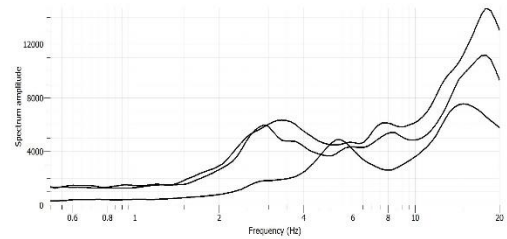
Titik 6



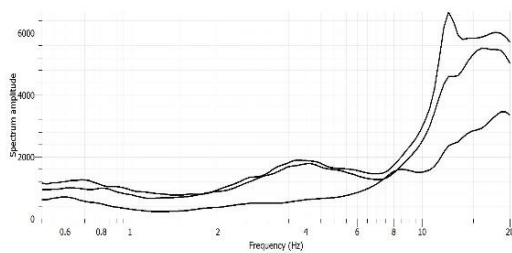
Titik 8



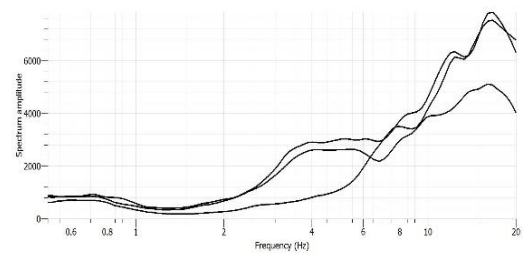
Titik 10



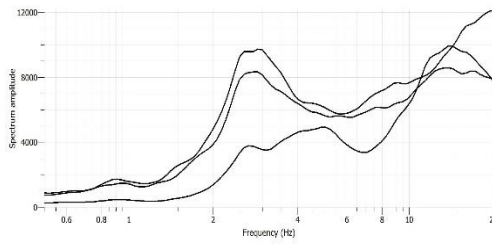
Titik 11



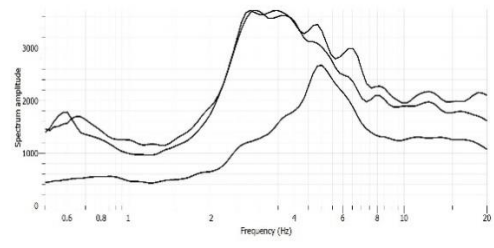
Titik 12



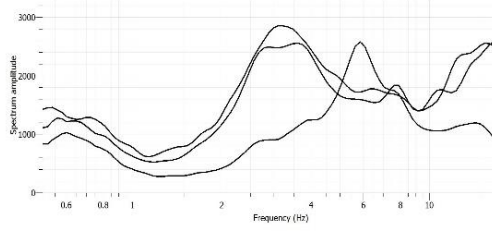
Titik 13



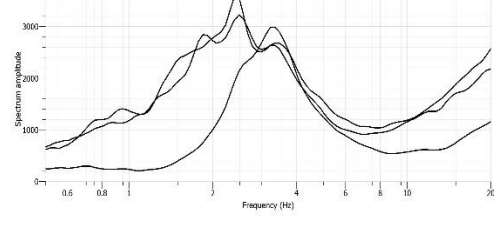
Titik 14



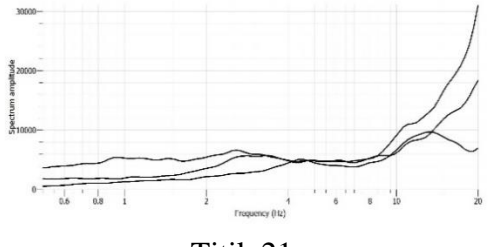
Titik 17



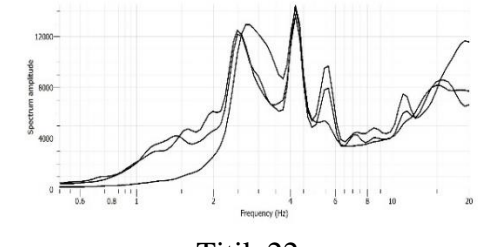
Titik 18



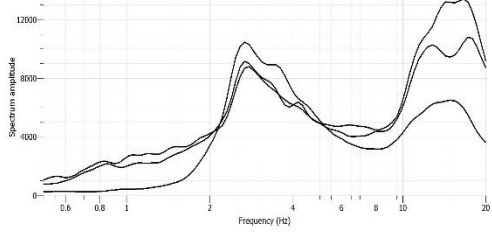
Titik 19



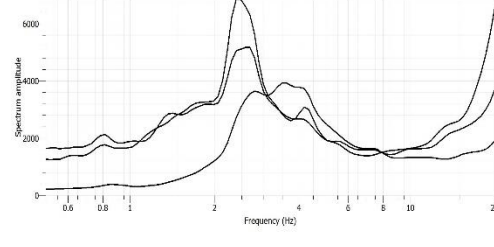
Titik 21



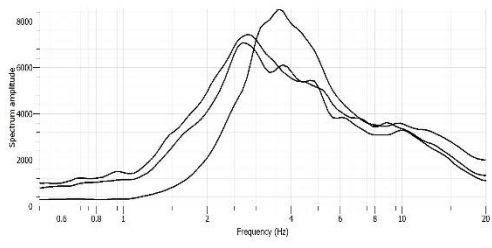
Titik 22



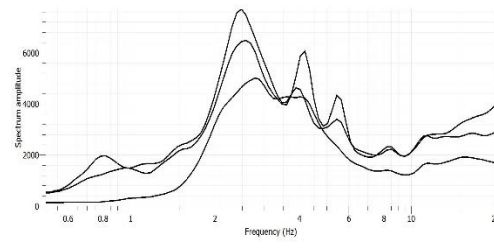
Titik 24



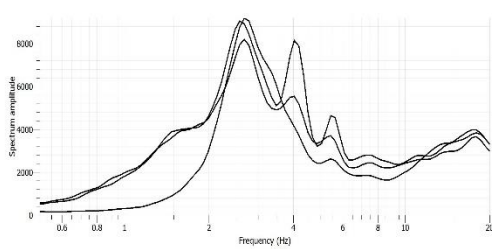
Titik 25



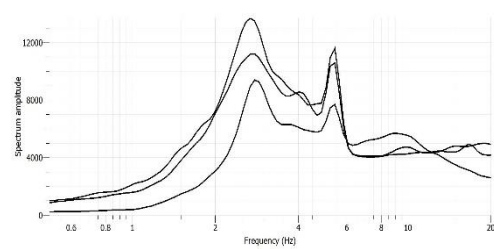
Titik 26



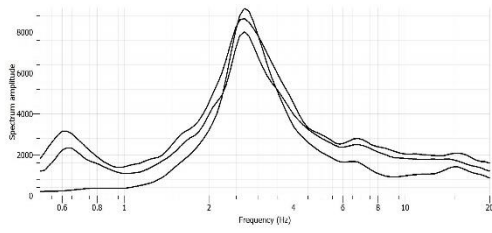
Titik 27



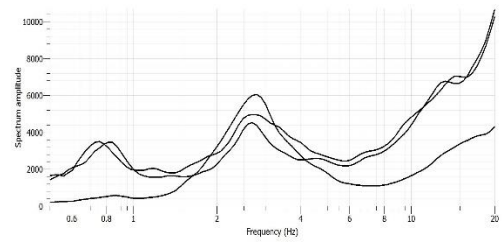
Titik 29



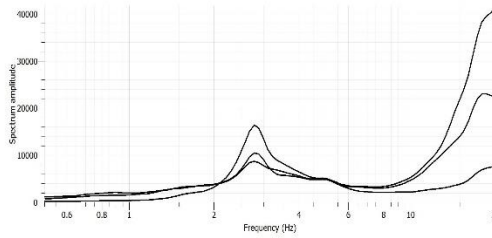
Titik 30



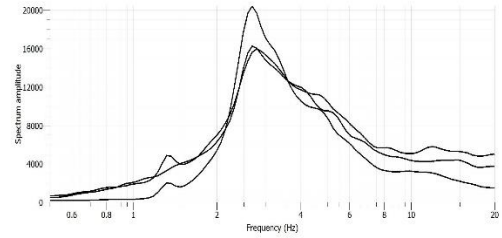
**Titik 31**



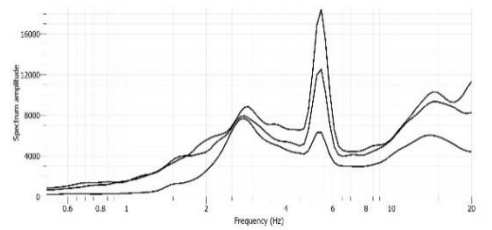
**Titik 32**



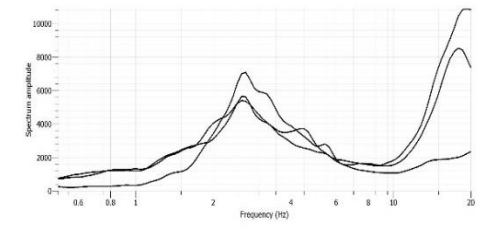
**Titik 36**



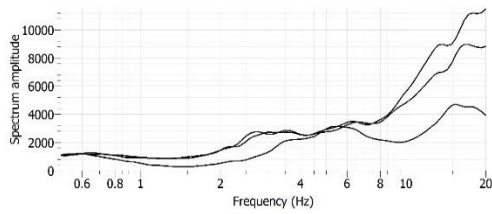
**Titik 37**



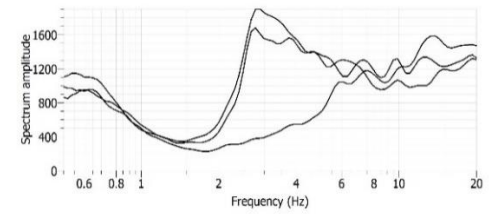
**Titik 38**



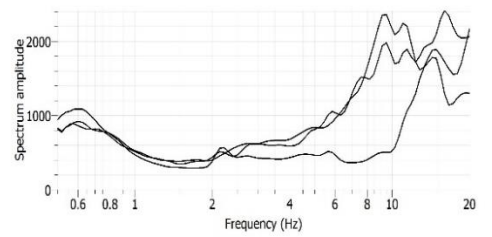
**Titik 39**



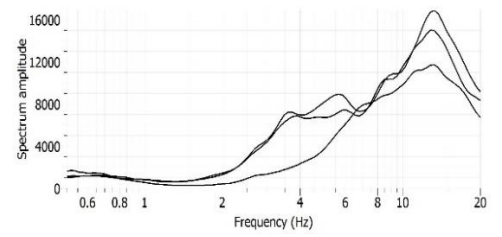
**Titik B1**



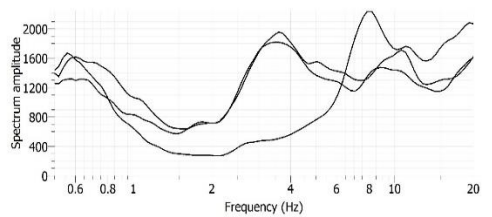
**Titik B2**



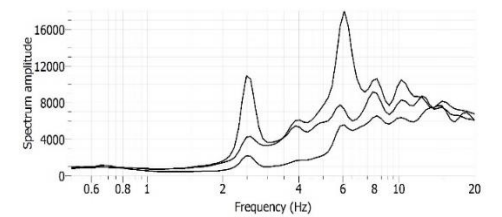
**Titik B3**



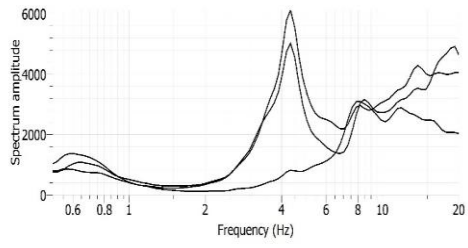
**Titik B4**



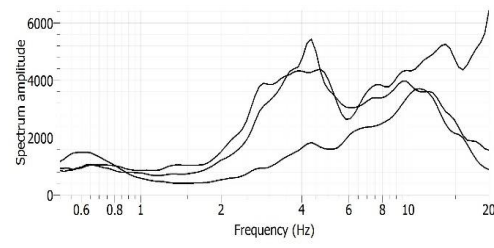
**Titik B9**



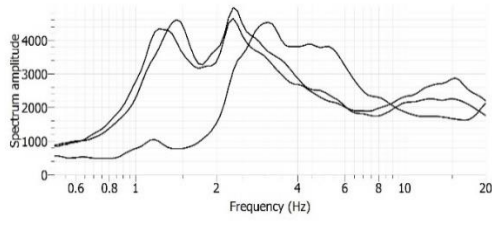
**Titik C1**



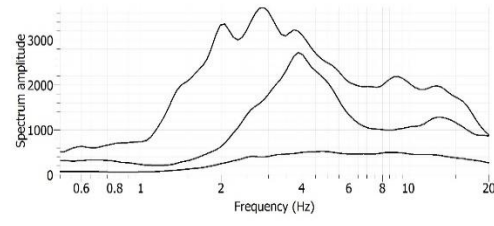
**Titik C9**



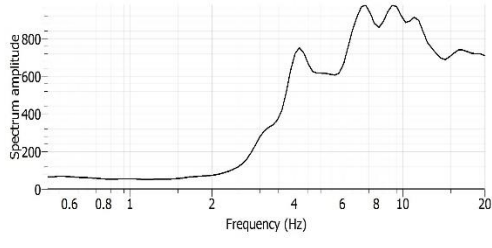
**Titik C10**



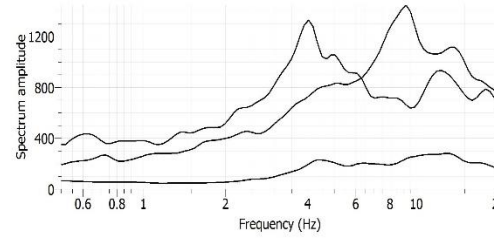
**Titik D6**



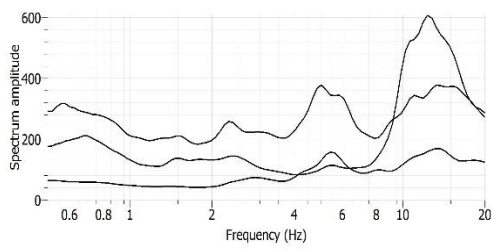
**Titik TA7**



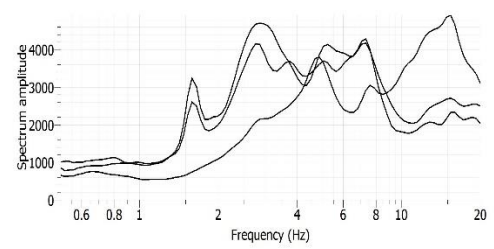
**Titik TA4**



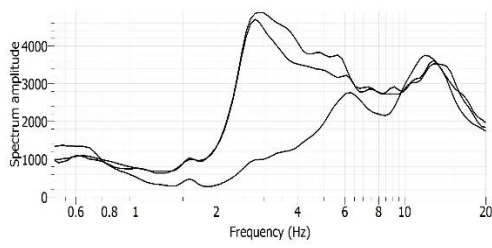
**Titik TA3**



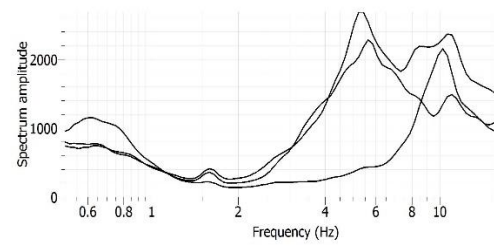
**Titik TA2**



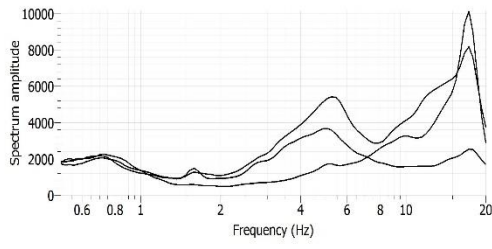
**Titik T48**



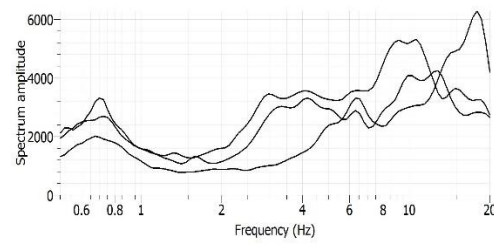
**Titik T35**



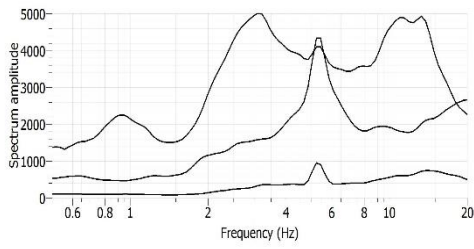
**Titik T34**



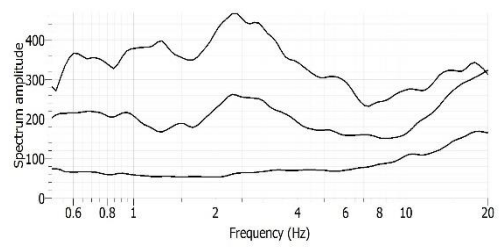
**Titik T19**



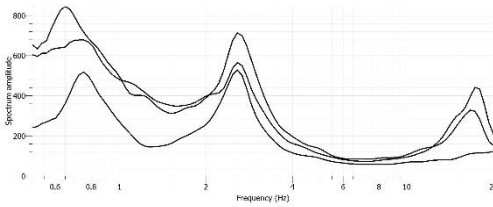
**Titik T11**



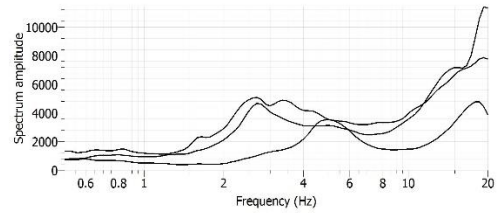
**Titik TA9**



**Titik TA1**

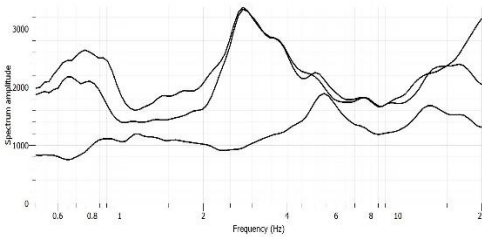


**Titik 35**

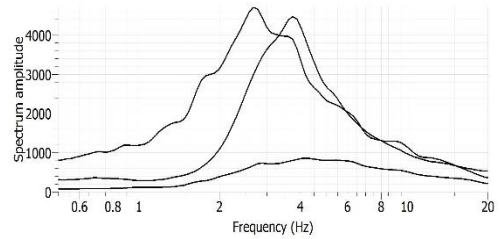


**Titik T43**

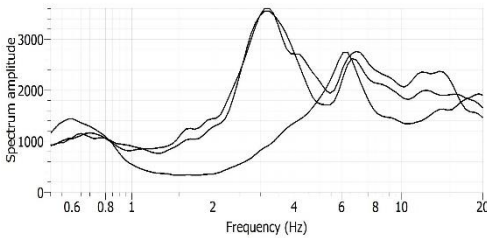
**2. ZONA KEDUA**



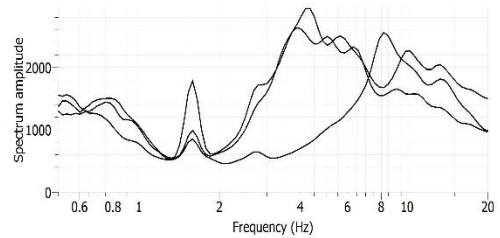
**Titik 3**



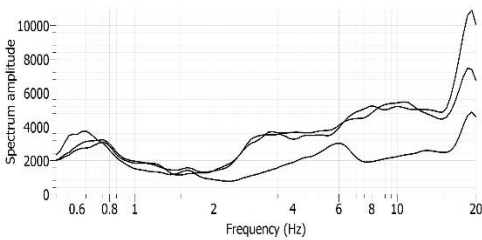
**Titik TA6**



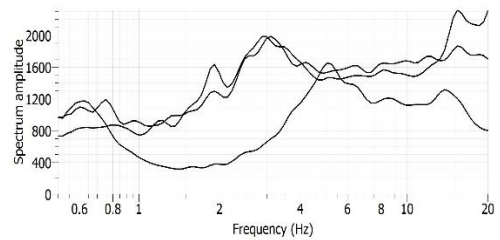
**Titik T26**



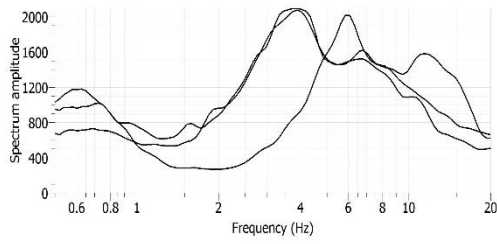
**Titik T28**



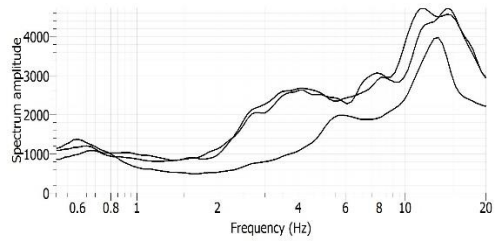
**Titik T13**



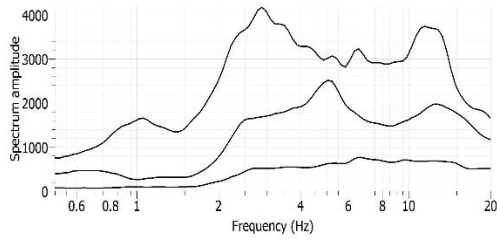
**Titik T23**



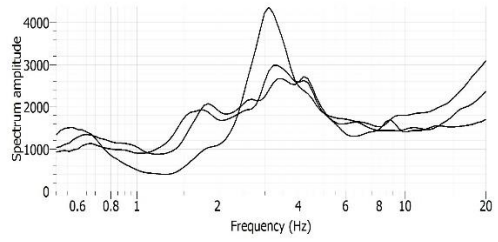
**Titik T24**



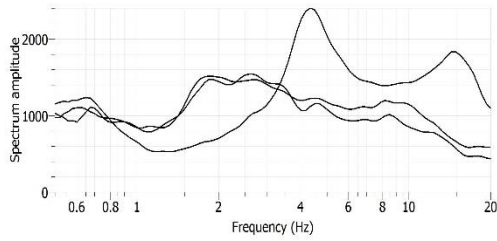
**Titik T25**



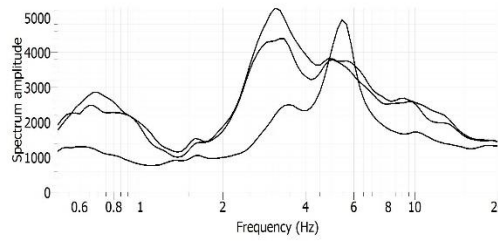
**Titik TA8**



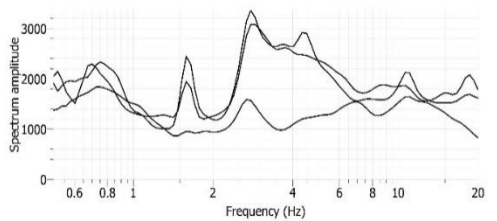
**Titik B5**



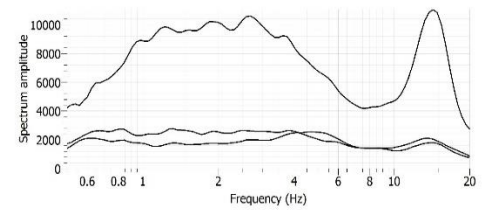
**Titik B8**



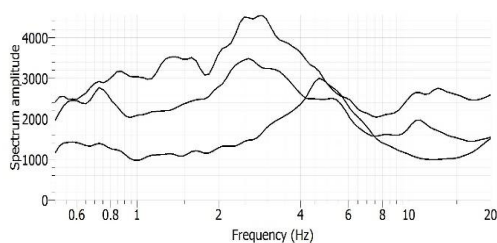
**Titik T1**



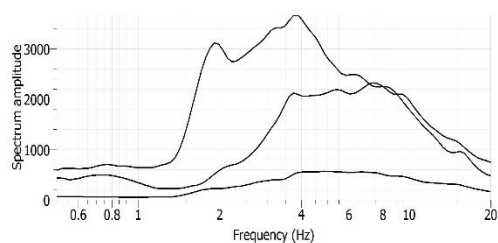
**Titik T37**



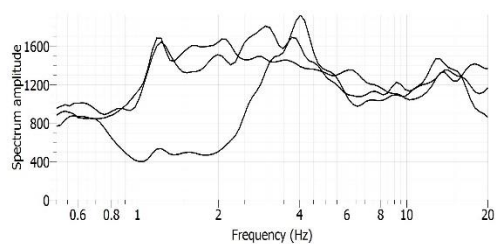
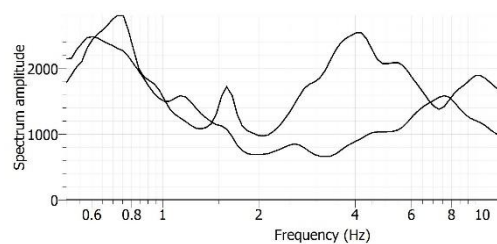
**Titik T5**



**Titik TA7**



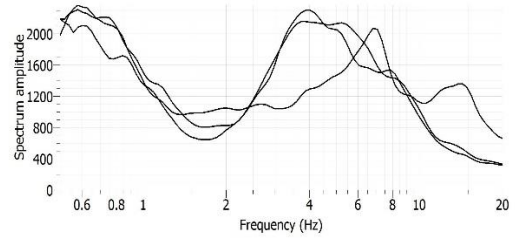
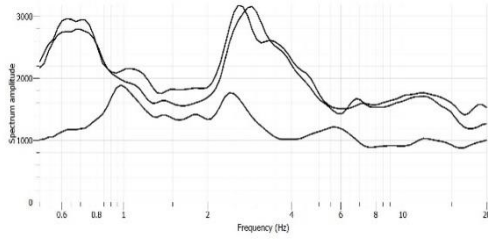
**Titik TA5**



Titik T9

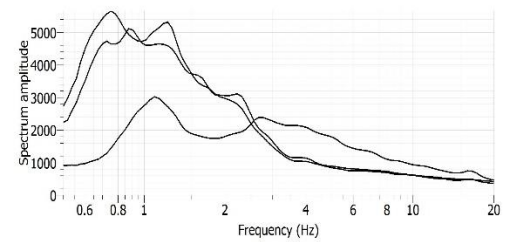
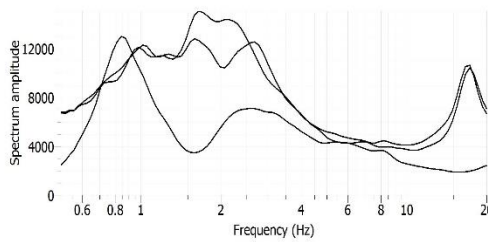
Titik D2

### 3. ZONA KETIGA



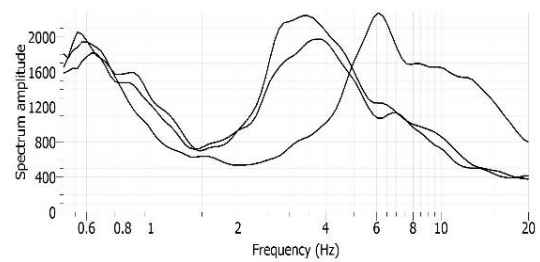
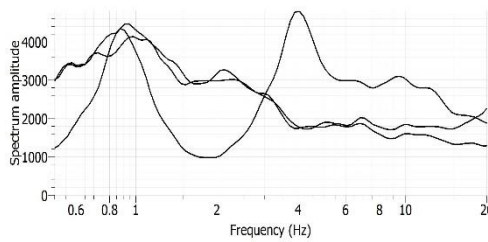
Titik 7

Titik B7



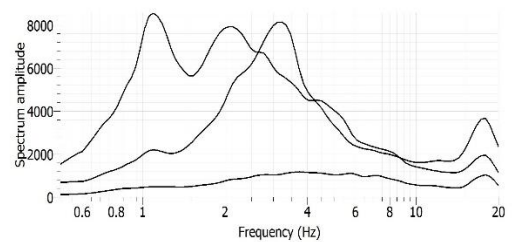
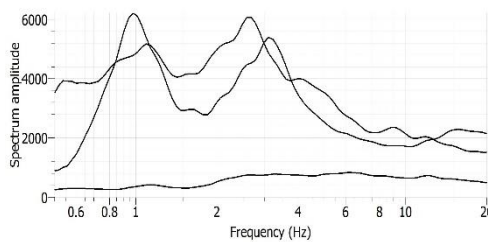
Titik D7

Titik D9



Titik D8

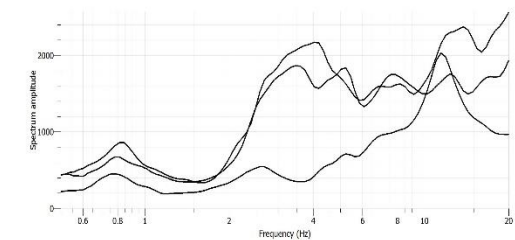
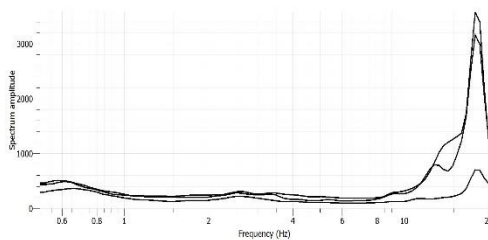
Titik B6



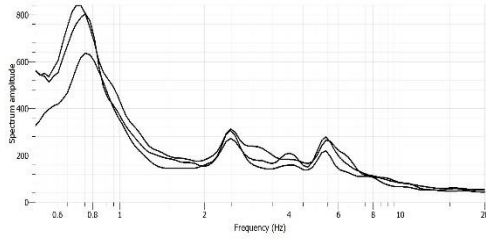
Titik TA10

Titik TA11

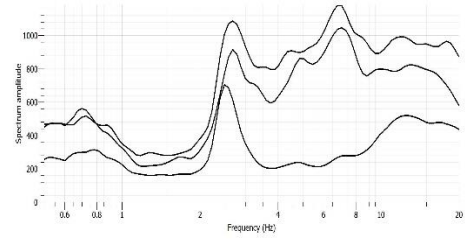
### 4. Formasi Semilir



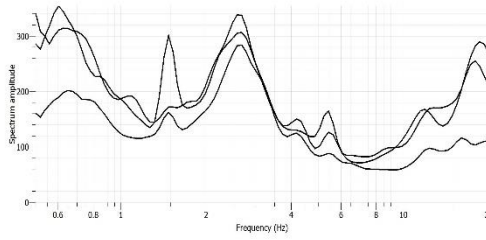
**Titik 9**



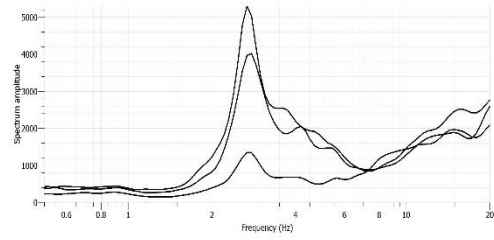
**Titik 15**



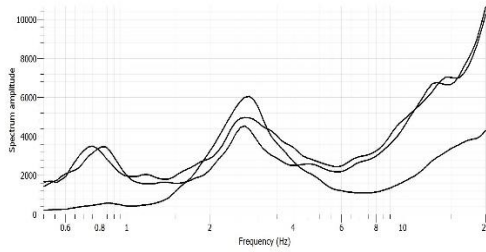
**Titik 16**



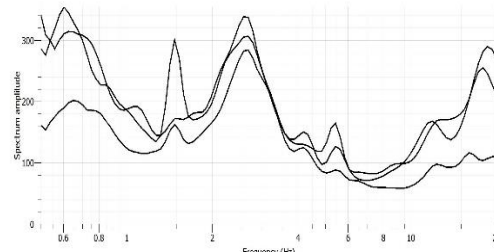
**Titik 20**



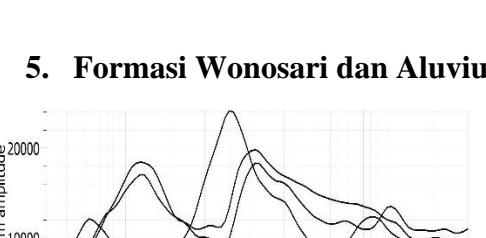
**Titik 23**



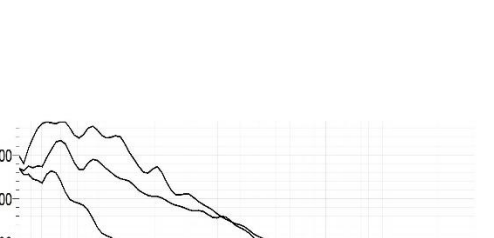
**Titik 28**



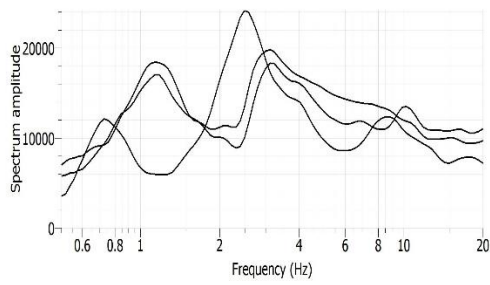
**Titik 33**



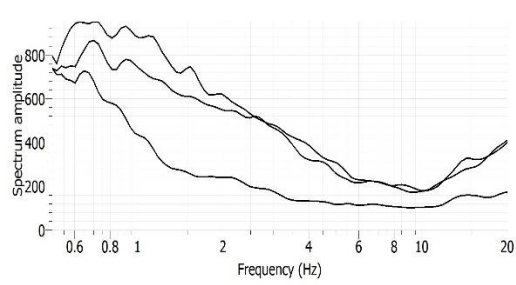
**Titik 34**



**5. Formasi Wonosari dan Aluvium**



**Wonosari**



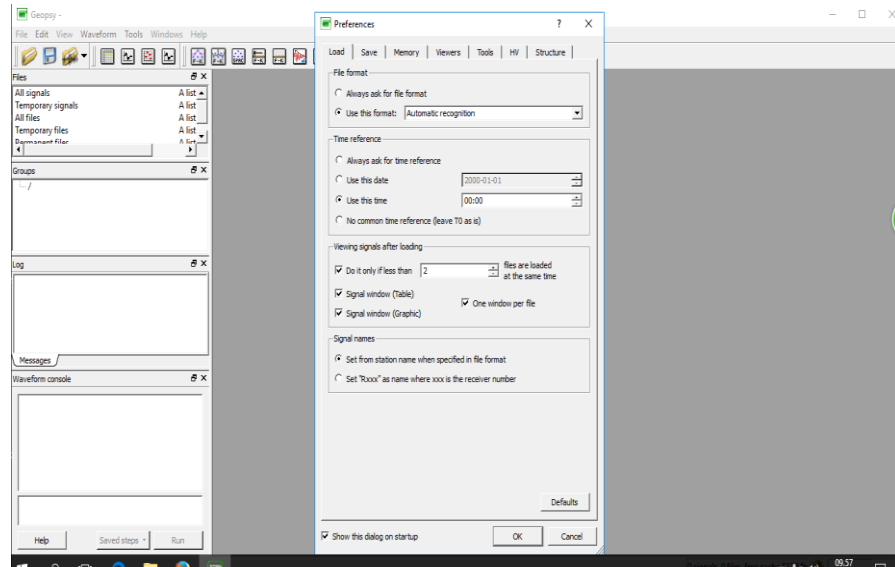
**Aluvium**

## LAMPIRAN 6

### PROSES PENGOLAHAN DATA

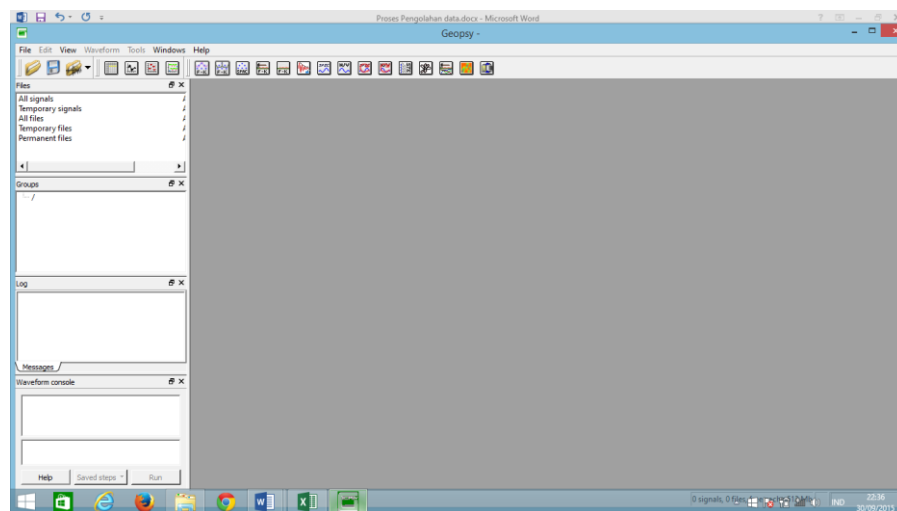
#### A. Memperoleh Citra TFA (Time Frequency Analysis) menggunakan *Software Geopsy*

1. Buka aplikasi *software Sesaray-Geopsy*, maka akan muncul:



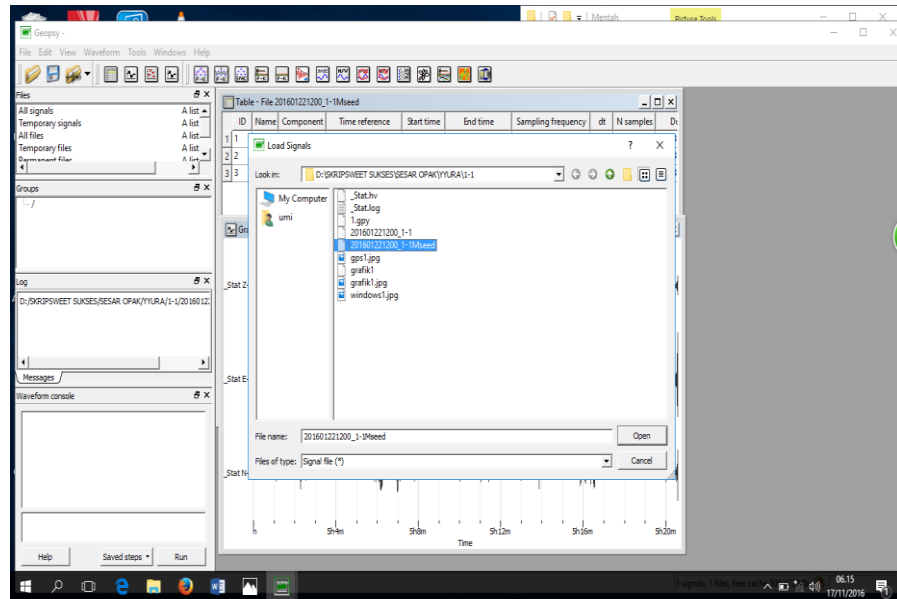
Lampiran 1

2. Klik Oke, maka akan muncul:



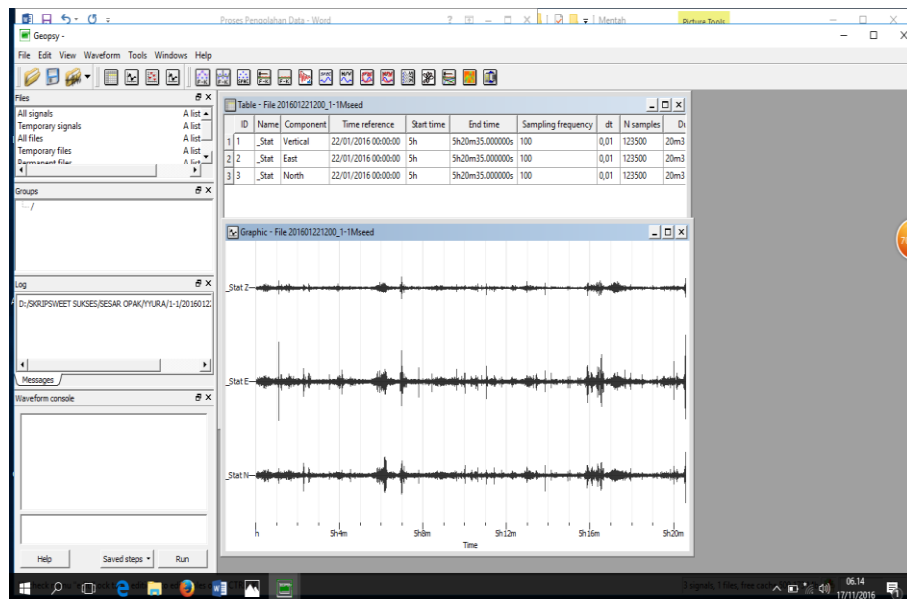
Lampiran 2

3. Klik *import signals*, kemudian dicari *file* penyimpanan data titik-titik pengukuran, dipilih dalam bentuk *Mseed* kemudian klik *Open*.



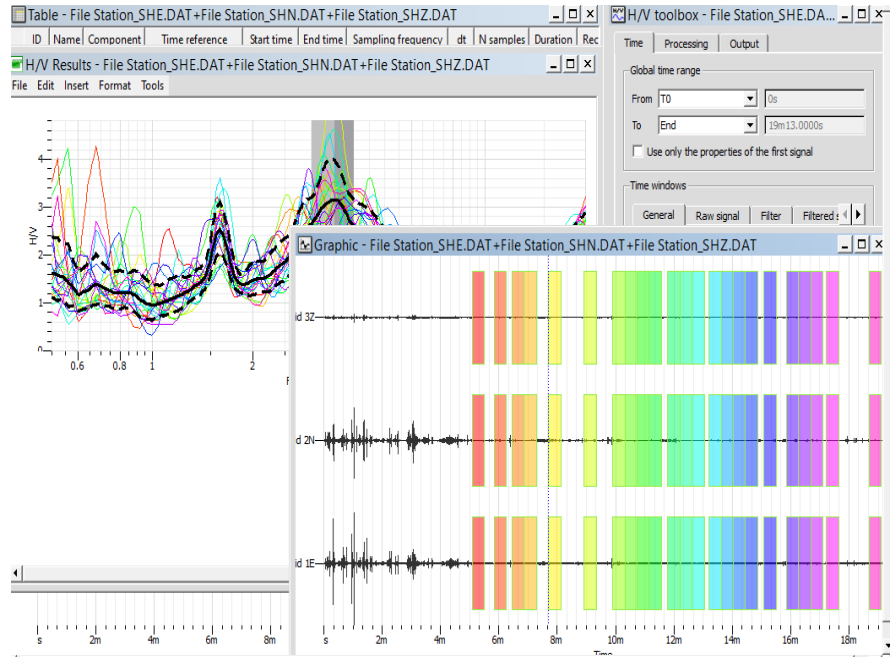
Lampiran 3

4. Kemudian akan muncul kotak grafik seperti gambar di bawah ini.



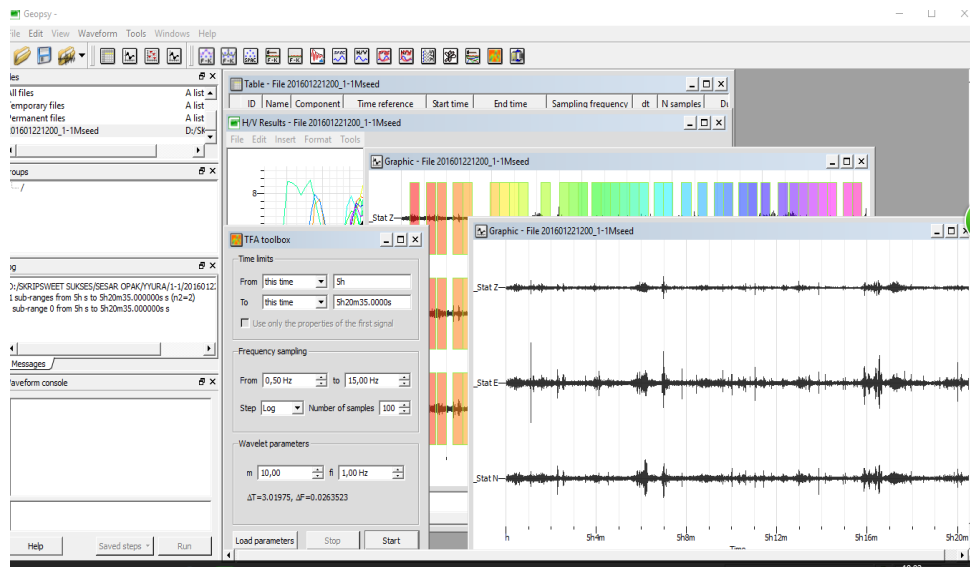
Lampiran 4

5. Pilih kotak grafik dipilih *window* yang *noise*-nya sedikit.



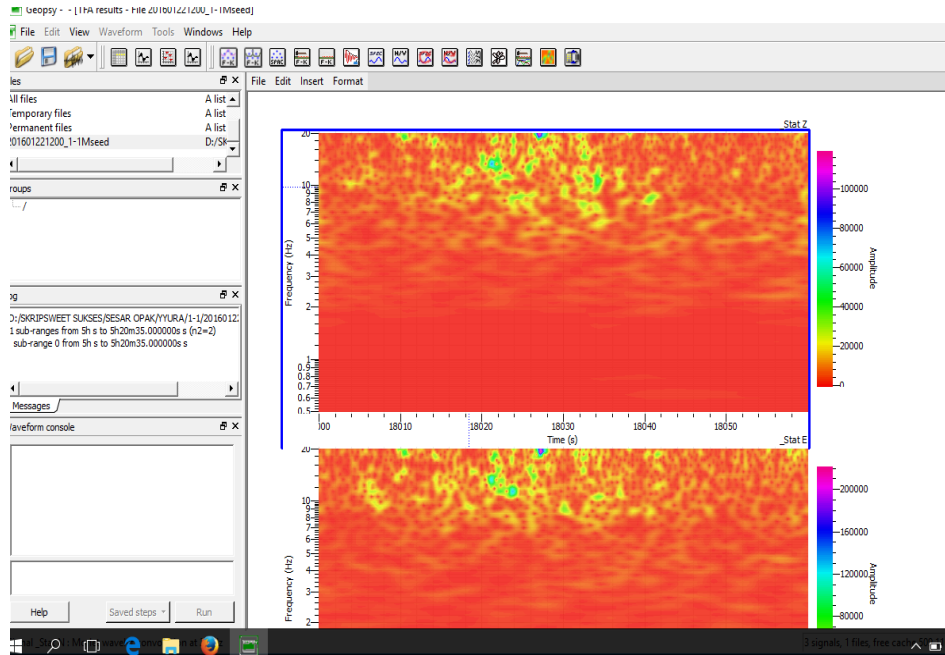
Lampiran 5

6. Lalu ganti *time(waktu)* di *TFA toolbox* dari *To* dan *During* menjadi *This time* dan pilih window yang berdempetan pada rentang waktu  $\pm 1$  menit seperti pada gambar di bawah ini.



Lampiran 6

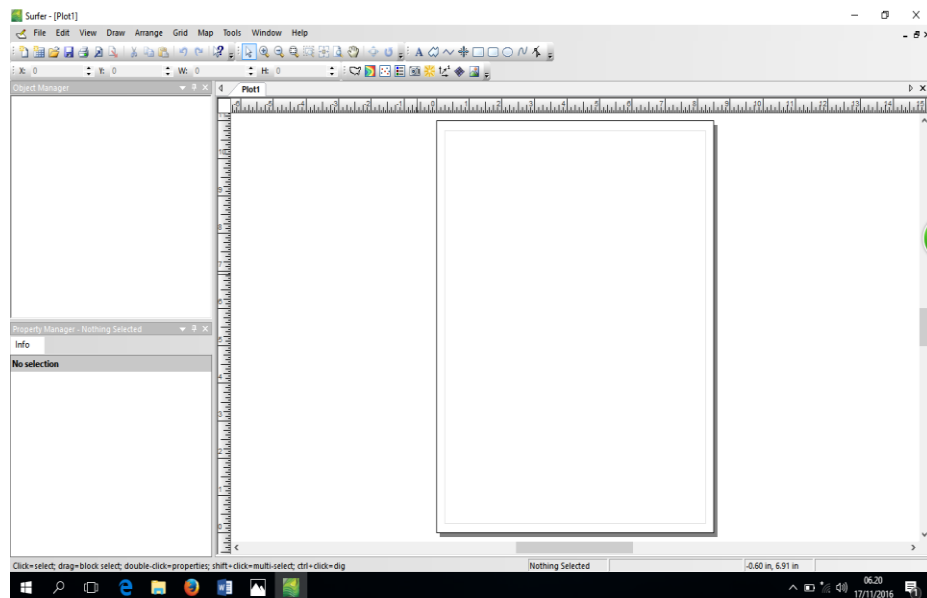
7. Klik *start* maka akan muncul grafik seperti gambar berikut.



Lampiran 7

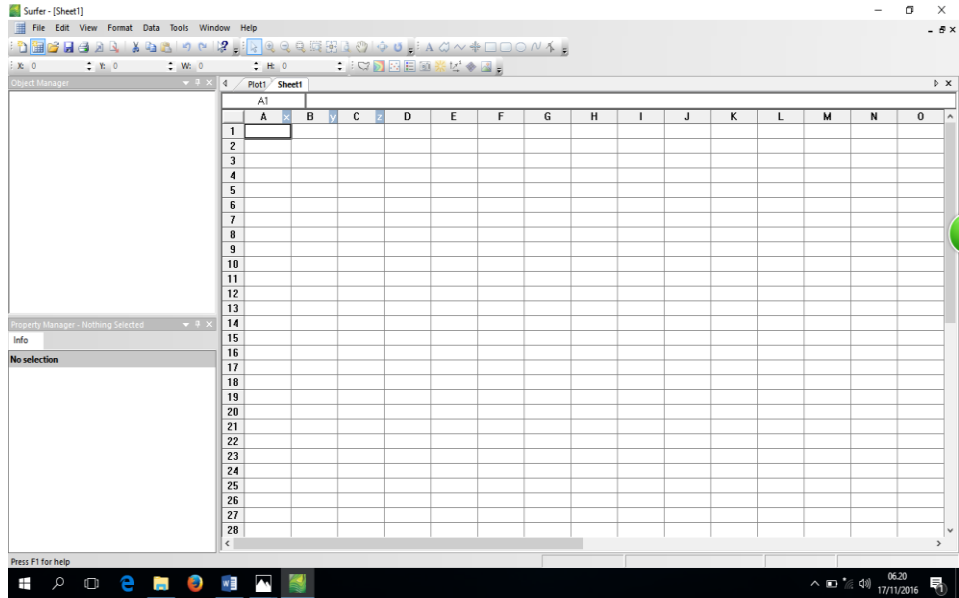
## B. Membuat Pemodelan dengan *Software Surfer 10*

1. Buka aplikasi *Software Surfer 10*, maka akan muncul:



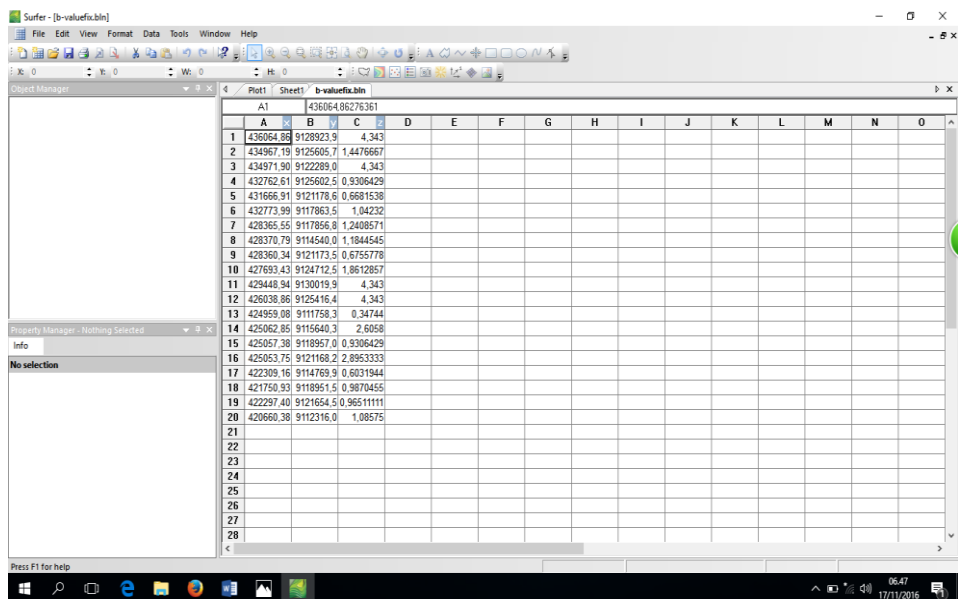
Lampiran 8

2. Klik *File* → *New* → *Worksheet*



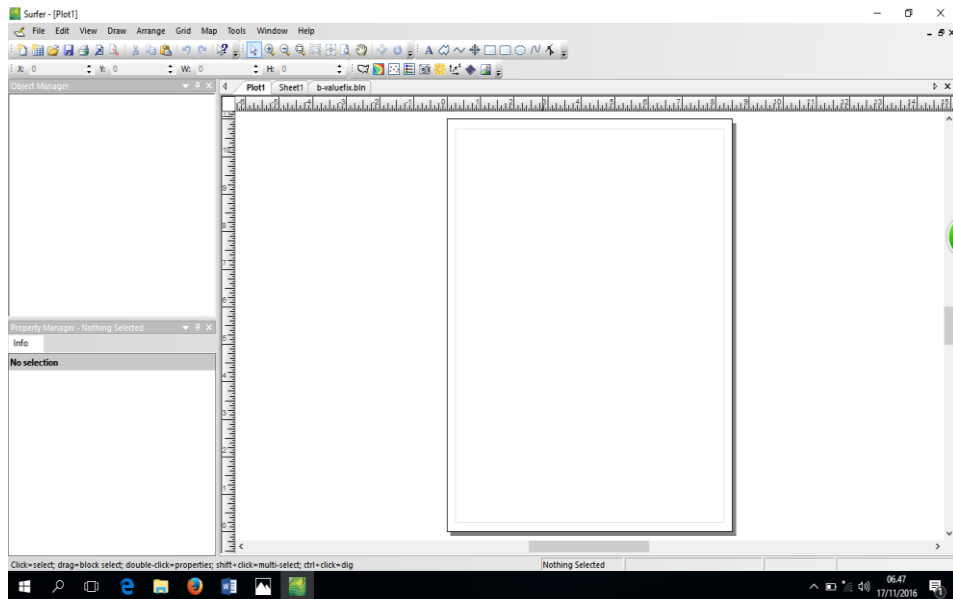
Lampiran 9

3. Pada kolom x diisi data longitudinal, kolom y diisi data latitudinal, dan kolom z diisi dengan data yang akan dibuat peta pemodelan.



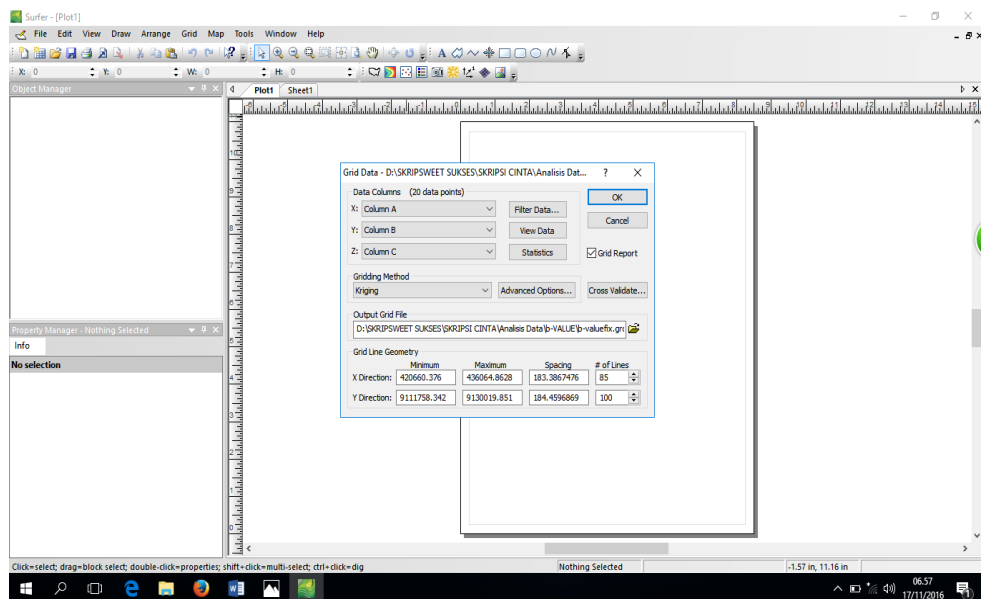
Lampiran 10

4. Save dalam bentuk BLN.
5. Klik *File* → *New* → *Plot*



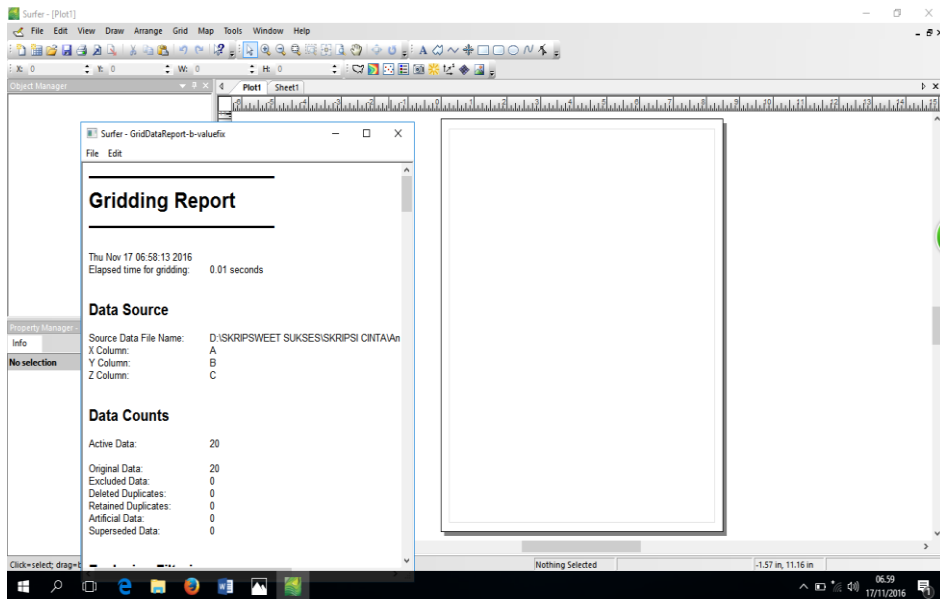
Lampiran 11

6. *Grid* → *Data* → pilih data bln → *Open* → *Oke* , maka menghasilkan *file* tipe GRD.



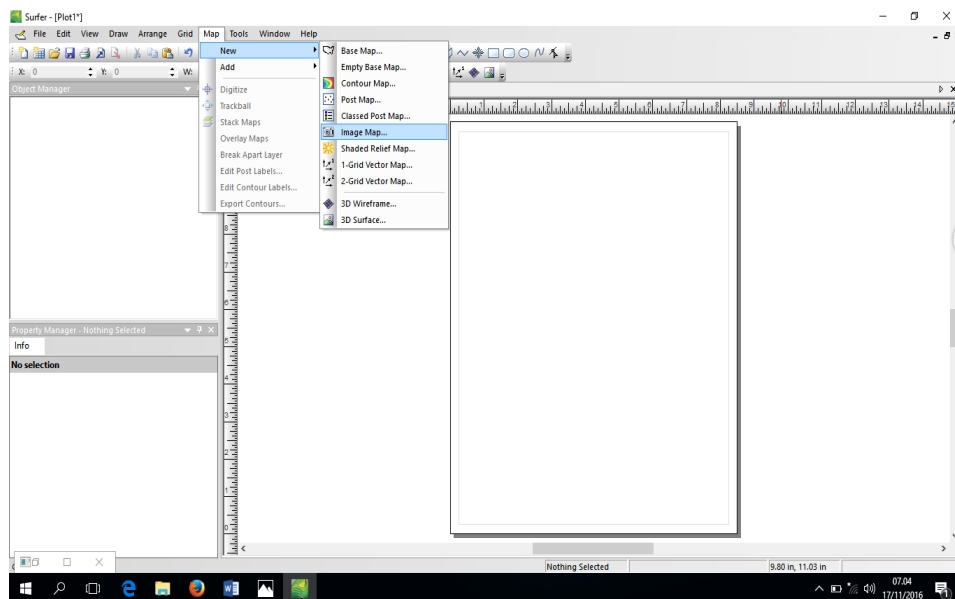
Lampiran 12

7. *Save Grid Data Report*



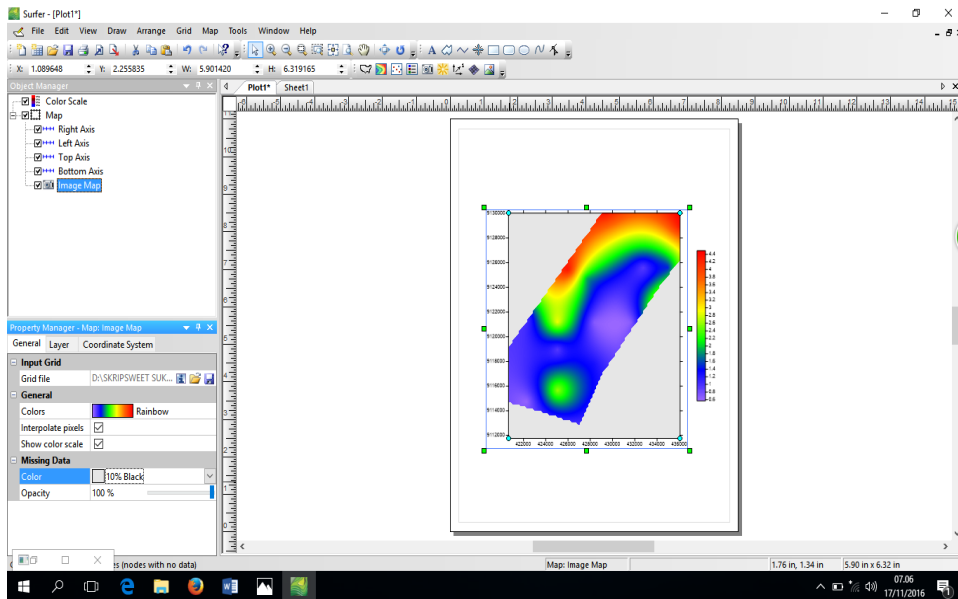
Lampiran 13

8. *Map* → *New* → *Image* → pilih data GRD → *Open*.



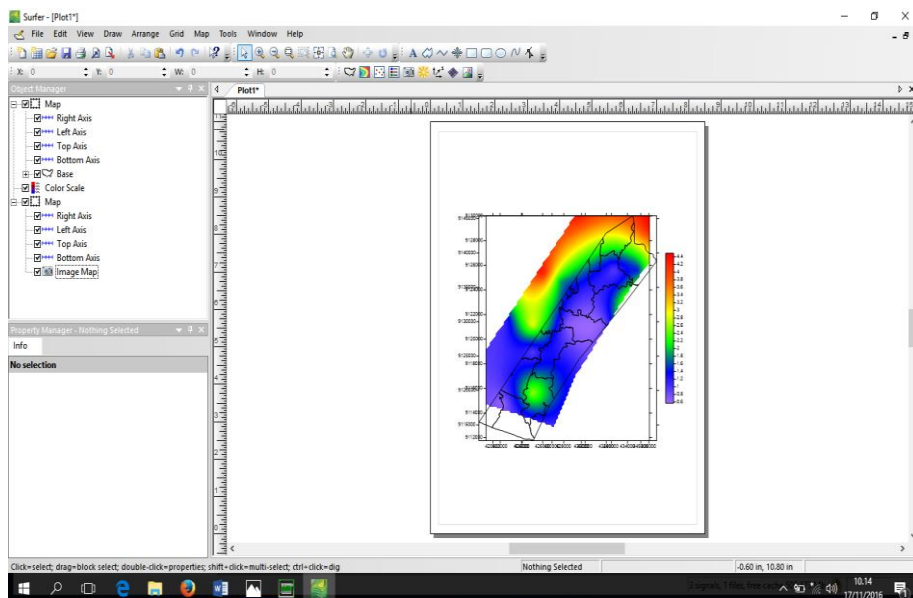
Lampiran 14

9. Mengubah warna kontur, klik *Contour* → *Level* → *Colors* → pilih warna tema yang dikehendaki. Untuk menampilkan skala, centang pada dialog *color scale*

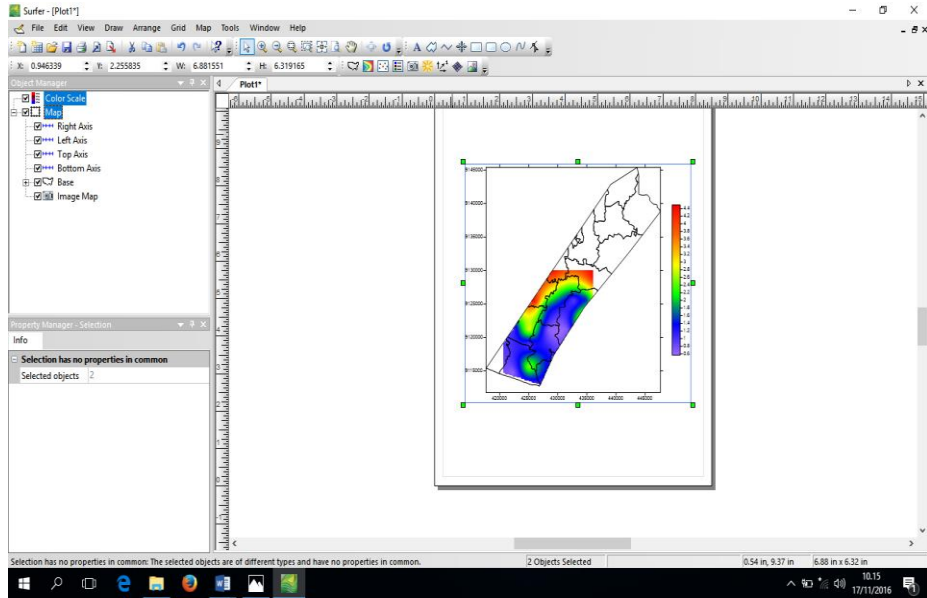


Lampiran 15

10. Menambahkan peta, klik *Map* → *New* → *Base Map* → Pilih peta yang akan ditambahkan.

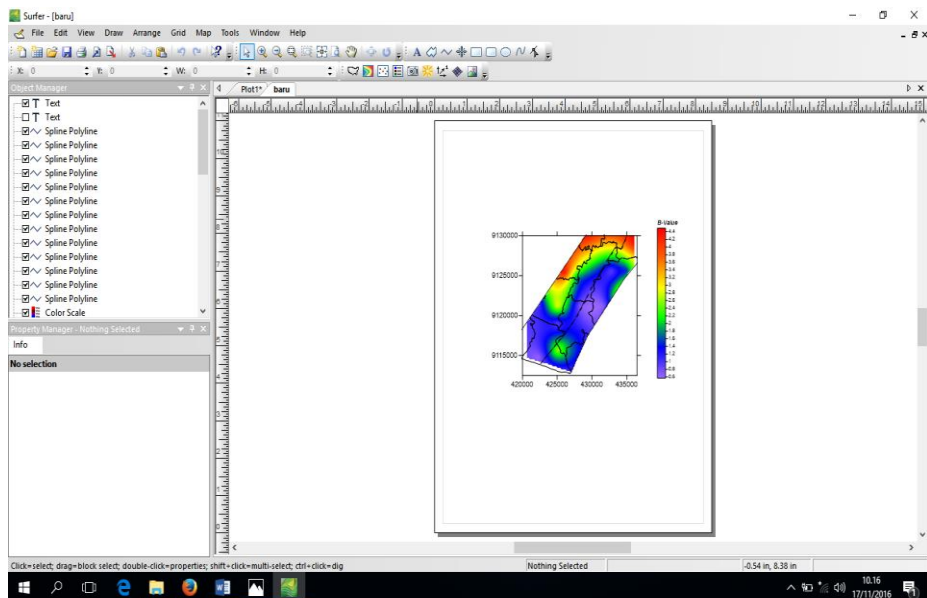


Lampiran 16



Lampiran 17

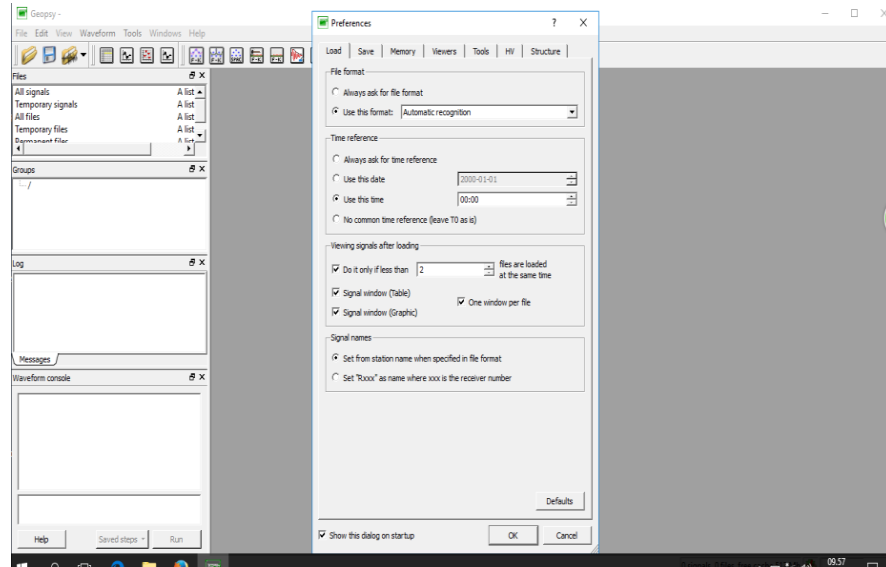
1. Blok semua peta → *Map* → *Overlay map* → klik *Map* di *object manager* → *Limits* → pada *Spatial Extents*, x dan y (min, max) diganti dengan *Limits* peta awal tersebut.



Lampiran 18

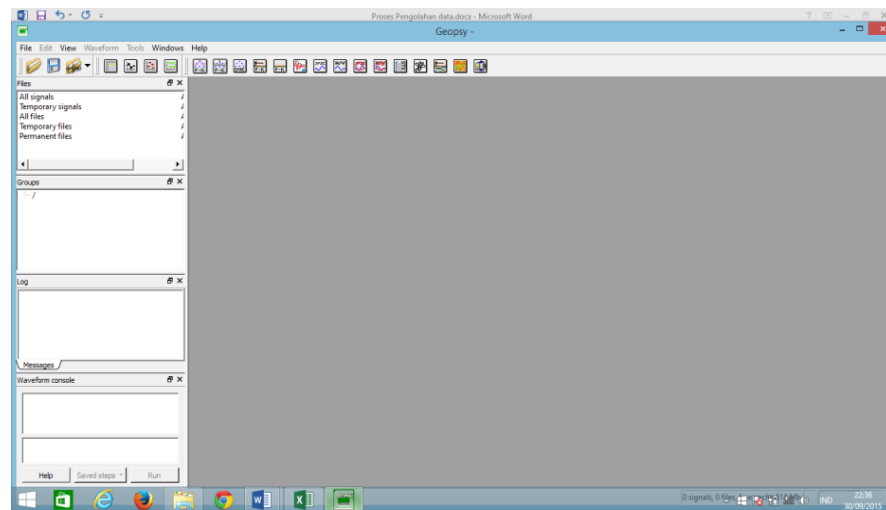
### C. Menganalisis Metode *Spectrum* menggunakan *Software Sesaray-Geopsy*

1. Buka aplikasi *software Sesaray-Geopsy*, maka akan muncul:



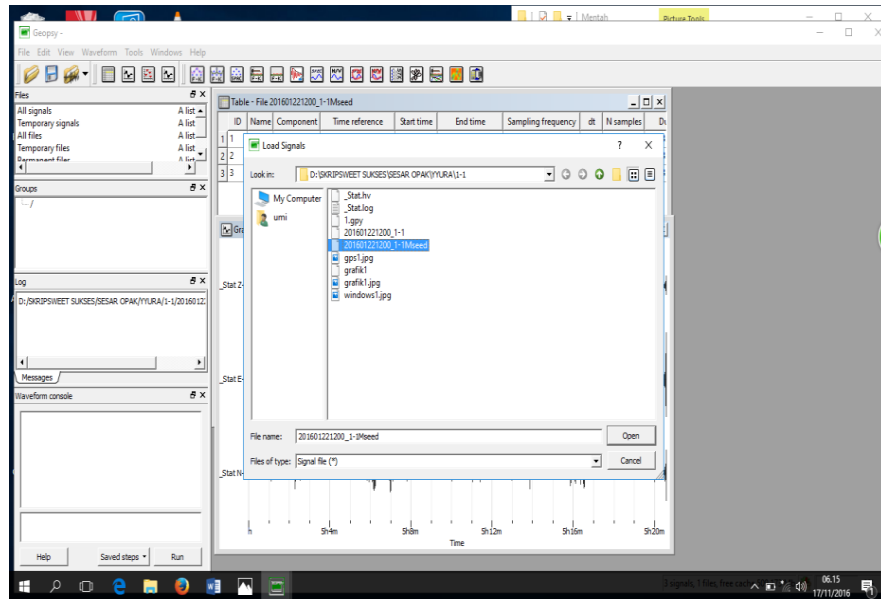
Lampiran 19

2. Klik Oke, maka akan muncul:



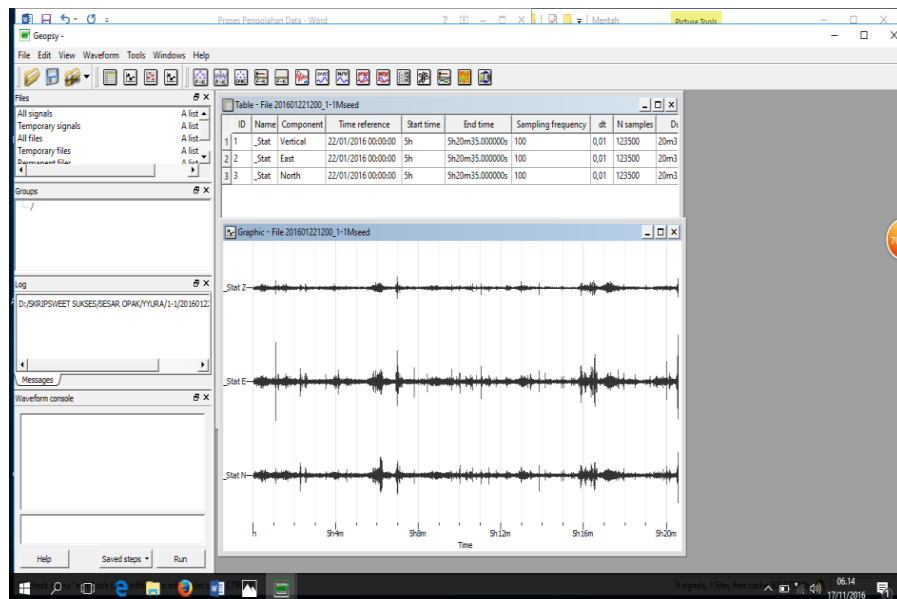
Lampiran 20

3. Klik *import signals*, kemudian dicari *file* penyimpanan data titik-titik pengukuran, dipilih dalam bentuk *Mseed* kemudian klik *Open*.



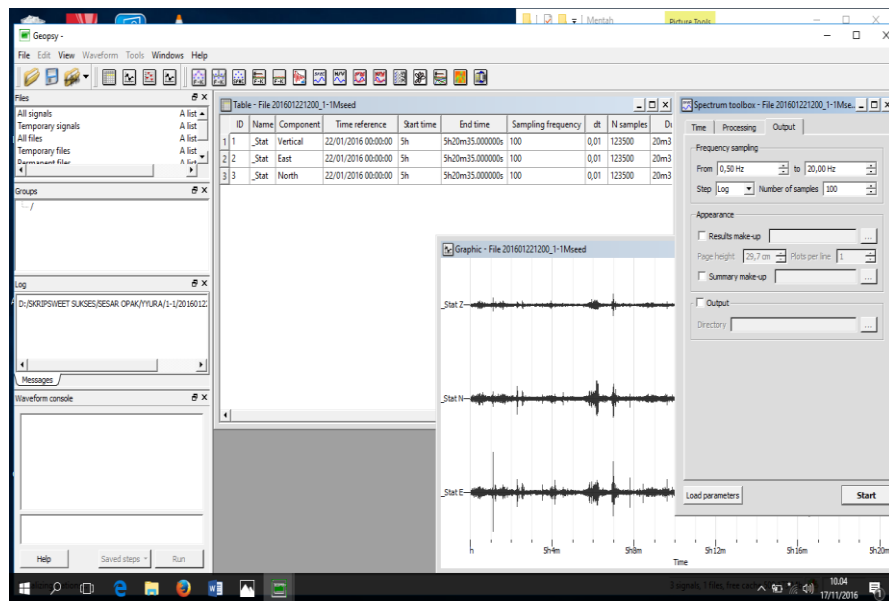
Lampiran 21

4. Kemudian akan muncul kotak grafik seperti gambar di bawah ini.



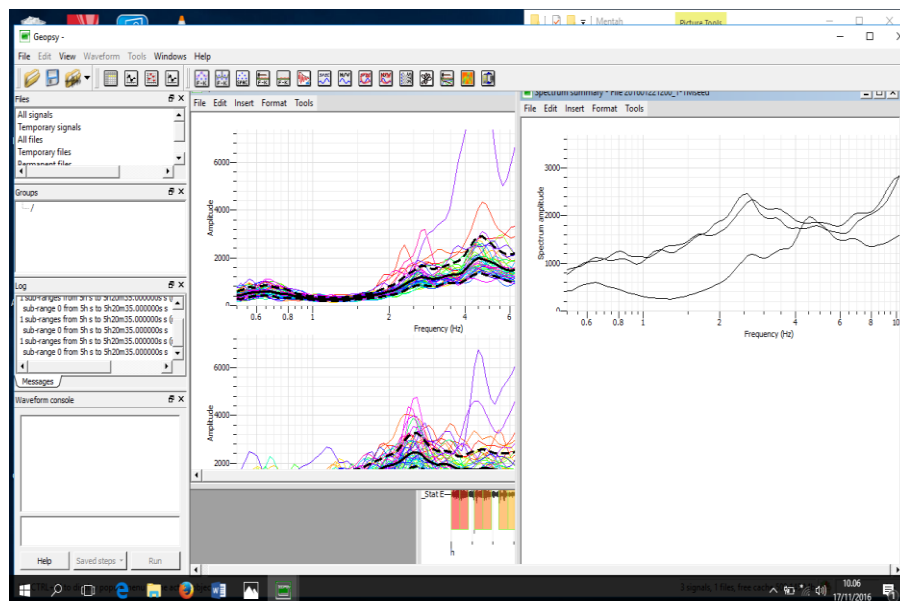
Lampiran 22

5. Klik kotak *spectrum* pada *tool bar*, maka akan muncul *spectral ratio toolbox*. Klik *add* kemudian pada kotak grafik dipilih *window* yang *noise*-nya sedikit



Lampiran 23

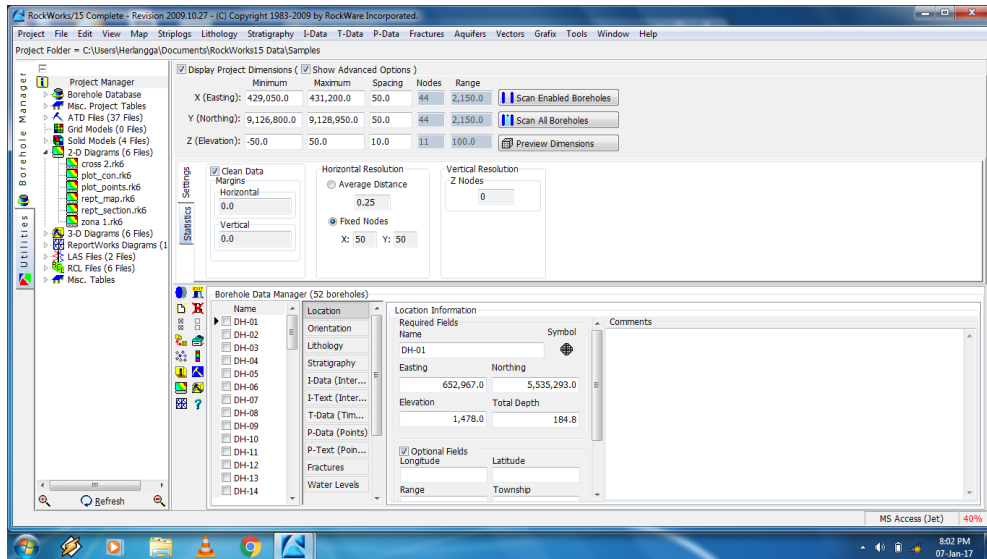
6. Klik *start* maka akan muncul grafik seperti gambar di bawah ini.



Lampiran 24

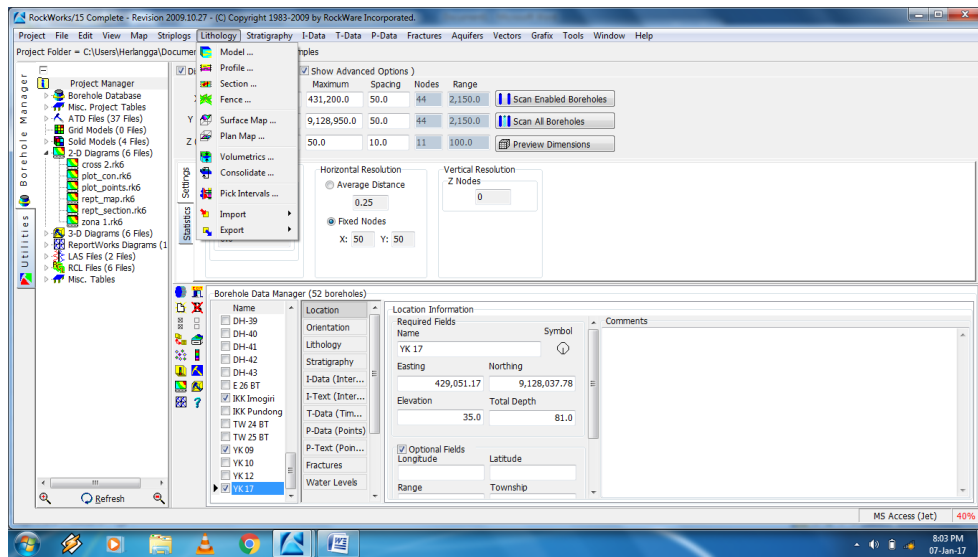
## D. Menganalisis Data Bor Menggunakan Rockworks

1. Buka Aplikasi Rockworks, maka akan muncul:



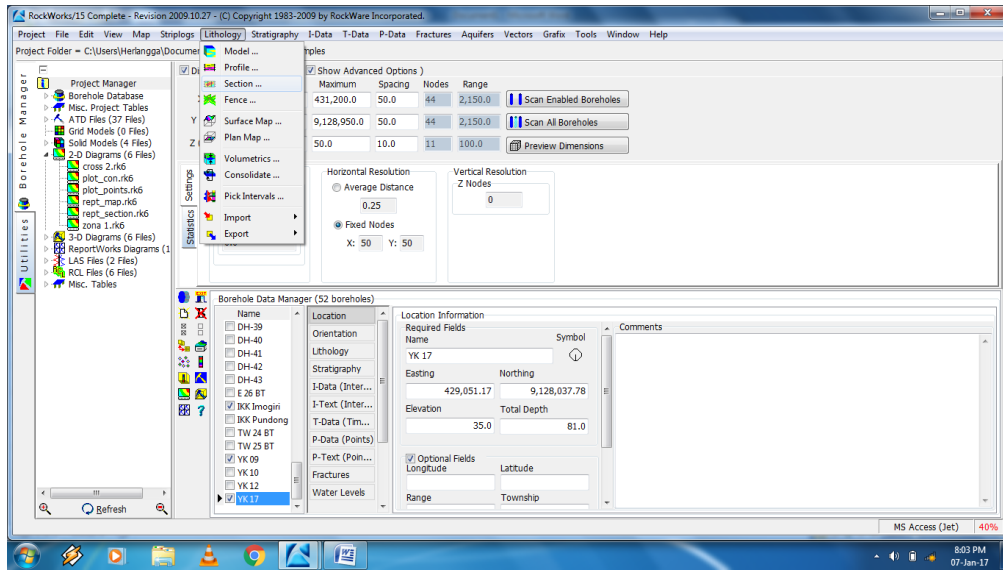
Lampiran 25

2. Centang data bor yang akan dipakai, kemudian *open* kolom *lithology*



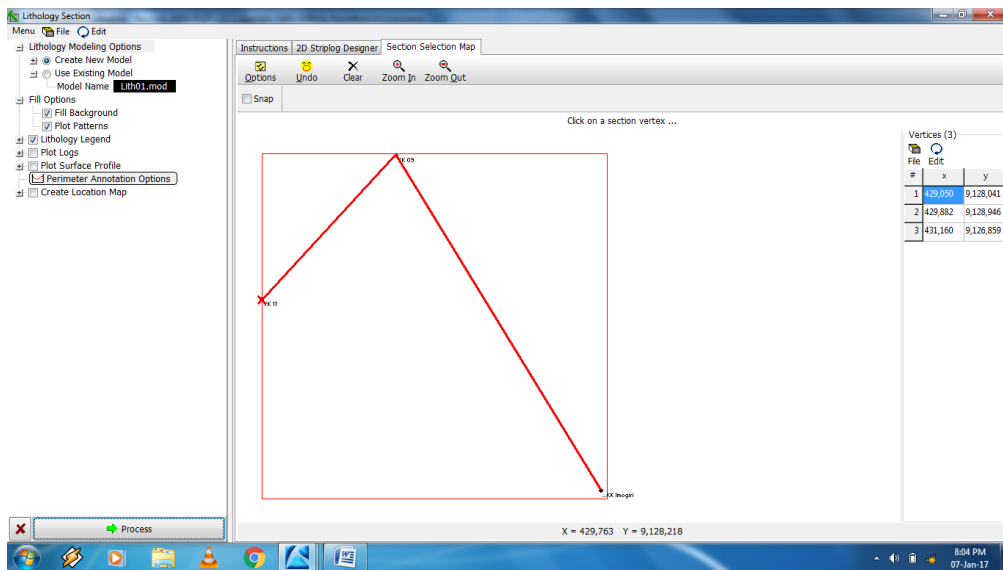
Lampiran 26

Kemudian pilih *section*



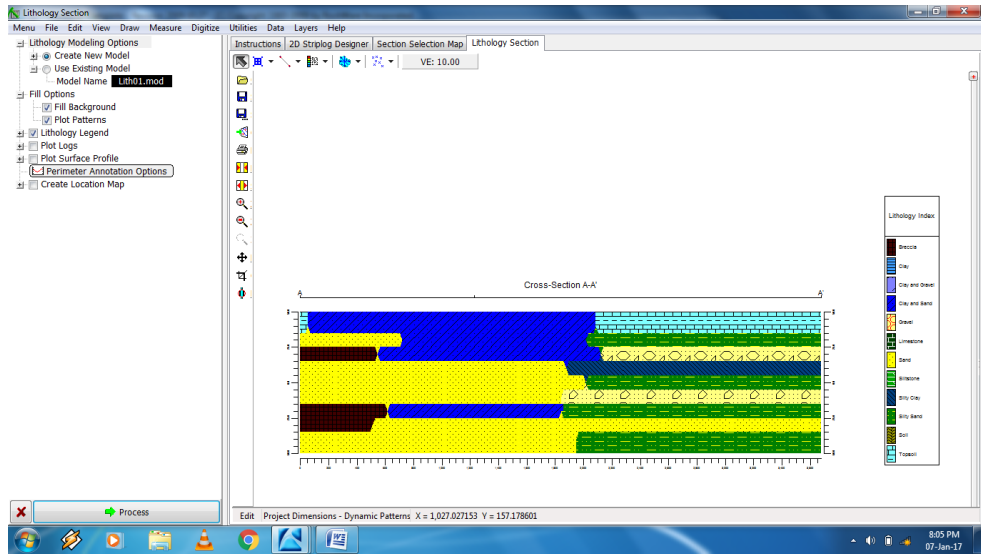
Lampiran 27

### 3. Buka *Section Selection Map* lalu tarik garis antar titik bor



Lampiran 28

Klik *process*, maka akan muncul:



Lampiran 29

**LAMPIRAN 7**  
**FOTO PENGAMBILAN DATA**



