

**ANALISIS TINGKAT RESIKO DARI NILAI *PEAK GROUND
ACCELERATION (PGA)* BERDASARKAN DATA
MIKROSEISMIK DISEKITAR JALUR SESAR OPAK
KABUPATEN BANTUL YOGYAKARTA**

SKRIPSI

**Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Mencapai Derajat Sarjana S-1**

Program Studi Fisika



Diajukan Oleh:

**ARIKA PURWANTI
NIM.11620018**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2016**



PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR
Nomor : UIN.02/D.ST/PP.01.1/1373/2016

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul

: Analisis Tingkat Resiko dari Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) berdasarkan data Mikroseismik disekitar Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta

Yang dipersiapkan dan disusun oleh

: Arika Purwanti

NIM

: 11620022

Telah dimunaqasyahkan pada

: 31 Maret 2016

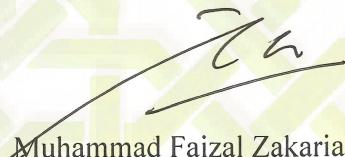
Nilai Munaqasyah

: A-

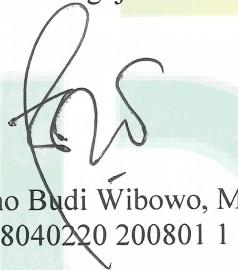
Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang


Muhammad Faizal Zakaria, S.Si.,M.T.

Penguji I


Nugroho Budi Wibowo, M.Si.
NIP.198040220 200801 1 001

Penguji II


Widayanti, M.Si
NIP. 19760526 200604 2 005

Yogyakarta, 8 April 2016

UIN Sunan Kalijaga

Fakultas Sains dan Teknologi

Dekan





SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Pengajuan Munaqosyah

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Arika Purwanti

NIM : 11620022

Judul Skripsi : ANALISIS TINGKAT RESIKO DARI NILAI *PEAK GROUND ACCELERATION (PGA)* BERDASARKAN DATA MIKROSEISMIK DISEKITAR JALUR SESAR OPAK KABUPATEN BANTUL YOGYAKARTA

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Fisika

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 15 Maret 2016

Pembimbing

Muhammad Faizal Zakaria, S.Si., M.T
NIP: 19881218 000000 1 000

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi – sanksi lainnya sesuai dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Yogyakarta, 15 Maret 2016

Yang menyatakan



Arika Purwanti
NIM.11620022

**ANALISIS TINGKAT RESIKO DARI NILAI *PEAK GROUND
ACCELERATION (PGA)* BERDASARKAN DATA MIKROSEISMIK
DISEKITAR JALUR SESAR OPAK KABUPATEN BANTUL
YOGYAKARTA**

Arika Purwanti

11620022

INTISARI

Pengukuran mikrotremor merupakan salah satu metode yang paling popular untuk memperkirakan tingkat kerusakan suatu wilayah. Teknik ini digunakan pada 34 titik ukur di daerah Sesar Opak Kabupaten Bantul, Yogyakarta dengan tujuan mengetahui nilai frekuensi dominan tanah dan amplifikasi, menghitung nilai *peak ground acceleration* (PGA) dan menentukan tingkat resiko wilayah. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa tingkat kerusakan berdasarkan nilai frekuensi dominan yakni 1,56 – 7,5 Hz, nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* di peroleh hasil perhitungan sebesar 140, 179 Gal – 308,523 Gal dengan kondisi kerusakan resiko besar pertama, resiko tinggi kedua, resiko tinggi ketiga, dan resiko sangat besar masuk ke satu.

Kata Kunci : HVSR, Mikroseismik, PGA

**RISK LEVEL ANALYSIS OF THE PGA VALUE BASED ON
MICROSEISMIC DATA GROUND THE FAULT OF OPAK RIVER OF
BANTUL REGENCY, YOGYAKARTA**

Arika Purwanti

11620022

ABSTRACT

Microseismic measurement is one of the most popular methods to predict damage level of region. The technique has been used at 34 points measurement Opak Fault in Bantul, Yogyakarta, to obtain ground dominant-frequency value ground, and its amplification, the Peak Ground Acceleration (PGA) value, and, determining to the damage level of the area. Based on the research, the dominant frequency of the area ranged from 1,56 to 7,5 Hz, and the PGA value ranged from 140,179 Gal – 308,523 Gal and the damage risk level of the area has been divided into first high risk, second high risk, third high risk, and very high risk which categorized into very-high one level.

Keywords: HVSR, microseismic, PGA

MOTTO

“ Menjadi yang terbaik bukan selalu harus berada di titik paling atas
diantara sesama kita, menjadi yang terbaik berarti menjadi manusia
yang tahu posisinya dihadapkan Allah dan sesamanya”

(Anonim)

PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan kepada :

- Allah, terimakasih atas kesempatan menikmati manisnya kehadiran dan kasih sayangMu, Kesehatan yang diberikan kepada Ayahku dan Kelurgaku..
- Ayah dan Ibuku tercinta, adekku Evi dan Farel... kalian adalah semangat hidupku Allah *Thanks for giving me a wonderful family*
- Papi Agung dan Mami Emma terimakasih atas bimbingan selama belajar mengatur waktu untuk belajar dan mencari financial, Gilang dan Bintang adekku yang terlucu selalu membuat tertawa.
- Keluarga besar Trah Karto Dimedjan, Budhe, Pakdhe dan Om – Omku lainnya yang selalu direpoti dan memberikan motivasi untuk belajar dan belajar
- Pak Faizal yang selalu sabar membimbing dan pembimbing yang baik hati
- Pak Budi yang selalu saya repotkan untuk berkonsultasi
- Muhammad Ridwan Asy'ari yang selalu berbagi doa, waktu dan kasih sayang denganku
- Sahabat superku Pingky, TeteH Afni n ifun yang selalu memberikan arahan dan mendengarkan keluhanku atas pengajaran skripsi ini.
- Pingky, Ifun, TeteH Afni, Bonita, Mas Ary, Mas Omen, Mas yang selalu membantu dilapangan..
- Thank Allot Zulfi, Mbk DJ, Nikmah dan Sumi yang menampungku dikosan selama kemaleman
- Seluruh teman – teman Fisika 2011 makasih sudah menjadi keluarga besar dari sekarang hingga nanti.
- Seluruh Anggota SCG VIN SUKA..

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
INTISARI	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II LANDASAN TEORI	8
2.1 Tinjauan Pustaka	8
2.2 Tinjauan Lokasi Penelitian	11
2.2.1 Tinjauan Geologi Regional dan Sekitarnya	11
2.3 Gempabumi	13
2.3.1 Pengertian Gempabumi	13
2.3.2 Penyebab Terjadinya Gempabumi	13
2.3.3 Parameter Gempabumi	15
2.3.4 Jenis Gempabumi	16
2.4 Gelombang Seismik	17
2.5 Mikroseismik	24
2.6 HVSR (<i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>)	26
2.7 Transformasi,DFT	29

2.8 Frekuensi Dominan Tanah	32
2.9 Faktor Amplifikasi	33
2.10 Percepatan Getaran Tanah Maksimum	34
BAB III METODE PENELITIAN	39
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	39
3.1.1 Waktu Penelitian	39
3.1.2 Tempat Penelitian	39
3.2 Persiapan Alat dan Bahan Penelitian	42
3.3 Metode Penelitian.....	43
3.3.1 Diagram alir penelitian.....	43
3.3.2 Deskripsi Data.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Lokasi Titik Penelitian	48
4.2 Pengolahan Data Mentah	49
4.3 Frekuensi Dominan Tanah (f_0).....	52
4.4 Amplifikasi (A_0).....	54
4.5 Percepatan Getaran Tanah Maksimum (a_g) dan Tingkat Resiko.....	56
BAB V PENUTUP	60
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	63

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah berdasarkan frekuensi dominan mikroseismik	32
Tabel 2.2 Tingkat resiko gempabumi.....	38
Tabel 3.1 Tingkat Resiko gempabumi	47
Tabel 4.1 Hasil Pengolahan Data Penelitian	56

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Yogyakarta	12
Gambar 2.2 Sketsa jenis pertemuan lempeng tektonik	14
Gambar 2.3 Tinjauan gaya yang bekerja pada medium berbentuk kubus	18
Gambar 2.4 Ilustrasi Gelombang Primer dan Sekunder	23
Gambar 2.5 Ilustrasi Gelombang Rayleigh dan Love	24
Gambar 2.6 Tampilan Mikroseismik pada perangkat lunak	25
Gambar 2.7 Model cekungan yang berisi material halus	27
Gambar 3.1 Letak Penelitian	39
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 4.1 Titik Pengambilan data	48
Gambar 4.2 Respon Seismograf TDS 303	49
Gambar 4.3 Contoh Kurva Cleak Peak	50
Gambar 4.4 Peta Frekuensi Dominan Tanah	53
Gambar 4.5 Peta Amplifikasi	55
Gambar 4.6 Percepatan Getaran Tanah Maksimum	58

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1 Hasil Sinyal Pengolahan Geopsy.....	63
Lampiran 2 Perhitungan Delta	103
Lampiran 3 Hasil Nilai Pengolahan dari Sinyal	105
Lampiran 4 Hasil kriteria pengolahan Sesame	106
Lampiran 5 Lembar Ceklist Pengambilan Data Lapangan	107
Lampiran 6 Foto Pengambilan Data	108

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara yang memiliki aktifitas vulkanik dan tektonik yang tinggi. Ada tiga lempeng tektonik yang bertemu di bawah wilayah Indonesia yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng samudera Pasifik, dan lempeng Eurasia. Lempeng Indo-Australia berinteraksi dengan lempeng Eurasia dan juga dengan lempeng Pasifik. Ketiga lempeng tektonik tersebut memiliki jenis bidang batas lempeng yang sama yaitu bidang batas konvergen yang membentuk zona-zona subduksi. Zona subduksi di Samudera Indonesia merupakan hasil interaksi lempeng Indo-Australia yang bergerak ke Utara dengan lempeng Eurasia yang bergerak ke Selatan. Subduksi lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia diduga berkorelasi dengan berbagai sistem sesar, lipatan, cekungan yang terbentang dari Sumatra, Jawa, Bali, hingga Nusa Tenggara. Salah satu yang menjadi ciri khas zona subduksi adalah terbentuknya palung laut. Palung laut yang berhadapan langsung dengan pantai selatan Jawa adalah palung Jawa yang merupakan hasil subduksi lempeng Eurasia dan Indo-Australia.

Gempa bumi yang terjadi pada 27 Mei 2006 sebesar 5,9 skala *Richter* telah menimpa daerah Yogyakarta dan sekitarnya meliputi daerah Bantul, Kulonprogo, Gunung Kidul, Sleman, Solo, Karanganyar, Klaten, dan Prambanan. Kurang lebih 5500 jiwa kehilangan nyawa, ribuan warga luka-luka, dan kehilangan keluarga serta hartanya. Sumber gempa tersebut berpusat pada kedalaman 33 km, tepatnya terletak 37 km dari garis pantai dengan *episentrum* di

dasar samudera Hindia pada koordinat 8.26° LS 110.31° BT (Hardjono, 2006). Aktifitas gempa tersebut telah memicu pergerakan sesar di wilayah Bantul dan sekitarnya. Sesar (patahan) aktif tersebut diidentifikasi membentuk garis lurus dimulai dari pusat gempa pada koordinat 8.007 LS- 110.286 BT (1 kilometer dari garis pantai Parangtritis) ke arah timur laut sampai ke Prambanan. Daerah yang dilewati sesar itu yakni Depok, Tritohargo, Ngambangan, dan Gondowulung di Yogyakarta. Sesar itu berada 10 kilometer dari Yogyakarta atau sekitar 5 kilometer dari Bantul (Salahuddin, dkk., 2006).

Fenomena alam gempabumi ini dipahami secara ilmiah dalam waktu beribu tahun yang lalu. Para ahli geologi menyepakati terjadinya gempabumi. Jauh sebelum teknologi berkembang, Al-Qur'an pada abad ke-7 telah menjelaskan secara garis besar mengenai gempa bumi. Seperti yang difirmankan oleh Allah SWT dalam surat Al Fajr 21:

كَلَّا إِذَا دَكَّتِ الْأَرْضُ دَكَّا دَكَّا

Artinya : *Jangan (berbuat demikian). Apabila bumi diguncangkan berturut-turut.*

Ayat 21 pada surat Al fajr berbunyi, janganlah berbuat demikian, yakni janganlah mengira, bahwa tidak ada catatan dalam setiap perbuatan mereka yang akan diperhitungkan di Hari Perhitungan. Juga janganlah berfikir, bahwa kekayaan duniawi yang telah Allah karuniakan kepada mereka semata-mata untuk kemuliaan mereka dan bukan untuk menguji mereka. Selanjutnya dikatakan: “Ketika bumi diguncangkan berturut-turut”. Istilah dakk yang arti asalnya adalah “tanah datar” lalu digunakan dalam rangka “menghancurkan bukit-bukit dan bangunan-bangunan rata menjadi debu”, sedangkan dakkih adalah “suatu

panggung yang diratakan dan landai untuk duduk". Pengulangan dakk dalam ayat ini adalah sebagai penekanan

Menurut M. Quraish Shihab kata *dukkat* terambil dari kata dakka yang berarti menghantam sesuatu sehingga menghancurkannya. Pengulangan kata dakkan untuk mengisyaratkan bahwa penghancuran itu benar-benar akan terjadi, atau untuk mengisyaratkan berulangnya penghancuran itu, masing-masing wilayah atau gunung dihancurkan sehingga benar-benar hancur lebur, dan bumi menjadi datar sama sekali (QS. Thaha :160)

Keberadaan Sesar Opak memang telah diperkirakan oleh para geologi dan tertuang pada peta geologi lembar Yogyakarta keluaran P3G Bandung tahun 1977 dan diperbarui tahun 1995. Namun sesar ini menjadi lebih populer setelah kejadian gempa bumi di Yogyakarta dan Jawa Tengah pada 27 Mei 2006, karena sebagian ahli kebumian (Natawijaya, 2007) beranggapan gempa tersebut penyebabnya adalah aktivasi dari sesar opak. Sesar Opak merupakan sesar yang berada di sekitar Sungai Opak, sesar Opak ini berarah timur laut – barat daya kurang lebih $U 235^\circ T/80^\circ$, dimana blok timur relatif bergeser ke utara dan blok barat ke selatan dengan lebar dari zona sesar ini diperkirakan sekitar 2,5 km (Subawa, dkk., 2007)

Berdasarkan data kerusakan beberapa wilayah yang ada di Yogyakarta yang mengalami kerusakan akibat gempabumi yang terjadi pada 27 Mei 2006 pukul 05.53 pagi. Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG; Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika – BMKG) mencatat kekuatan gempa pada 5,9 Skala Richter.

Secara garis besar hal ini sangat merugikan warga masyarakat yang tentunya berada pada wilayah jalur Sesar Opak. Minimnya pengetahuan tentang cara mengetahui atau menanggulangi kebencanaan pada wilayah ini perlu adanya simulasi dan pengetahuan tentang kondisi lapangan yang berada di jalur Sesar Opak. Hal tersebut perlu adanya suatu tindakan mengenai pencegahan atau meminimalisir dampak dan timbulnya kejadian melalui kegiatan pengkajian tentang nilai percepatan getaran maksimum yang berada di sekitar jalur sesar Opak yang nantinya bisa diaplikasikan dalam pemilihan metode serta penanganan resiko bencana menggunakan teori ini.

Pada kajian ini akan dianalisis nilai percepatan tanah maksimum dengan menggunakan pengukuran mikroseismik. Analisa mikroseismik ini menggunakan metode HVSR (*Horizontal To Vertical Spectral Ratio*) yang dimana metode HVSR ini merupakan salah satu cara paling mudah dan paling sederhana untuk melakukan pengambilan data terkait variabel yang digunakan untuk menghitung nilai percepatan getaran tanah maksimum pada sesar opak. Data mikroseismik didapatkan, diimplementasikan ke rumus percepatan getaran maksimum (PGA), metode Kannai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan indentifikasi masalah yang telah di jelaskan sebelumnya, maka dapat ditentukan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa nilai frekuensi natural (f_0) dan amplifikasi (A_0) sekitar jalur Sesar Opak?
2. Berapakah nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* menggunakan metode

Kanai berdasarkan parameter gempa 2006 di Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta ?

3. Bagaimana tingkat resiko dari nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* berdasarkan parameter gempa 2006 di Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui nilai frekuensi natural (f_0) dan amplifikasi (A_0) sekitar jalur Sesar Opak.
2. Mengetahui nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* menggunakan perhitungan Kanai berdasarkan parameter gempa 2006 di Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta.
3. Mengetahui tingkat resiko dari nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* berdasarkan parameter gempa 2006 di Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta.

1.4 Batasan Penelitian

Ruang lingkup masalah yang diamati pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder yang didapatkan dari titik-titik penelitian di sepanjang jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta.
2. Klasifikasi tanah pada penelitian ini tanah yang berada di wilayah jalur sesar opak yang maksimal jarak dari sesar opak 1 Km sebelah kanan dan kiri jalur Sesar Opak

3. Pengolahan data mikroseismik menggunakan teknik pengolahan *Horizontal to vertical spectral ratio (HVSР)*.
4. Analisis dilakukan berdasarkan perhitungan nilai Percepatan getaran tanah maksimum *Peak Ground Acceleration (PGA)* dengan menggunakan metode Kanai.
5. Data USGS magnitude gempabumi dengan skala terbesar pada tahun 2006.
6. Nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* perhitungan Kanai digunakan untuk mengetahui nilai percepatan tanah maksimum dari data penelitian di Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi tentang Nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* di Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta.
2. Bagi Mahasiswa
 - a. Mahasiswa dapat memahami aplikasi nyata dari ilmu yang telah didapatkan dari bangku kuliah.
 - b. Dapat mengetahui analisis pengukuran mikroseismik yang terjadi gempabumi di area Jalur Sesar Opak.
 - c. Dapat mengetahui analisis perhitungan nilai percepatan getaran tanah maksimum
3. Bagi Masyarakat
 - a. Memberikan informasi tentang nilai percepatan getaran maksimum di daerah tersebut.

- b. Memberikan informasi tentang pembuatan bangunan agar kokoh.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sebagai bahan referensi, digunakan beberapa literatur atau acuan penelitian sejenis yang telah dilakukan sebelumnya. Adapun penelitian yang relevan dengan penelitian ini adalah :

1. Judul : “Pemetaan percepatan tanah maksimum dan intesitas seismic kota padang panjang menggunakan metode kanai”.

Tahun : 2008

Peneliti : Sri novita

Publikasi : Jurnal Penelitian Kebencanaan Indonesia 2008

Alat & metode : Mikrotremor & Metode Kanai

Tujuan : Memetakan percepatan tanah maksimum dan intensitas seismik daerah Padang Panjang dan sekitarnya.

Hasil : Besaran percepatan tanah maksimum pada permukaan mempunyai peranan penting sebagai dasar analisa dalam perencanaan konstruksi bangunan tahan gempa. Wilayah Padang Panjang dan sekitarnya yang memiliki nilai percepatan tanah maksimum yang tinggi 174,927 - 418,037 gal

sebaiknya dibangun dengan kontruksi bangunan tahan gempa.

2. Judul: “Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu”.

Peneliti : Refrizon
Tahun : 2013
Publikasi : Jurnal Ilmiah Edu Research Vol.2 No.2 Desember
Alat & metode : Mikrotremor & HVSR
Tujuan : Untuk membuat peta percepatan getaran tanah maksimum (PGA) dan kerentanan seismik (K) di kota Bengkulu, khususnya sekitar daerah rawan kerusakan yang parah oleh bencana gempabumi.
Hasil : Berdasarkan nilai PGA yang diperoleh serta dengan meninjau kondisi batuan secara geologi di daerah sekitar titik pengukuran (*local site effect*) nilai PGA bervariasi walaupun batuan dasar tersusun oleh Batu Gamping terumbu. Variasi nilai PGA dipengaruhi juga oleh ketebalan lapisan penutup, kekerasan dan kontras fisis antara lapisan penutup dan batuan dasar.

Batuan dasar di daerah penelitian adalah jenis batu gamping terumbu yang terdiri dari kerikil, lanau, lempung dan pasir bersifat lepas hingga

agak padat,kemampuan meloloskan airnya rendah hingga sedang dan daya dukung pondasinya sedang

Berdasarkan penelitian-penelitian diatas, ditunjukkan bahwa analisis percepatan getaran tanah maksimum dapat digunakan untuk mengetahui tingkat resiko kerusakan sehingga dapat digunakan untuk mengetahui dan analisis tingkat resiko kerusakan dari nilai PGA di jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta.

Perbedaan antara penelitian pada tinjauan pustaka di atas dengan penelitian mengenai “Analisis tingkat resiko kerusakan dari nilai *peak ground acceleration (PGA)* berdasarkan data mikroseismik di sekitar jalur sesar opak dan sesar oyo”

Peneliti : Arika Purwanti

Tahun : 2015

Alat & Metode : Mikrotremor & Metode HVSR

Tujuan : Analisis Tingkat Resiko Kerusakan Dari
Nilai Peak Ground Acceleration (PGA)
Berdasarkan Data Mikroseismik Sekitar
Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul

Yogyakarta

Hasil : Mengetahui nilai percepatan tanah maksimum tingkat resiko kerusakan menggunakan perhitungan Kanai dari hasil pengukuran mikrotremor pada tanah di

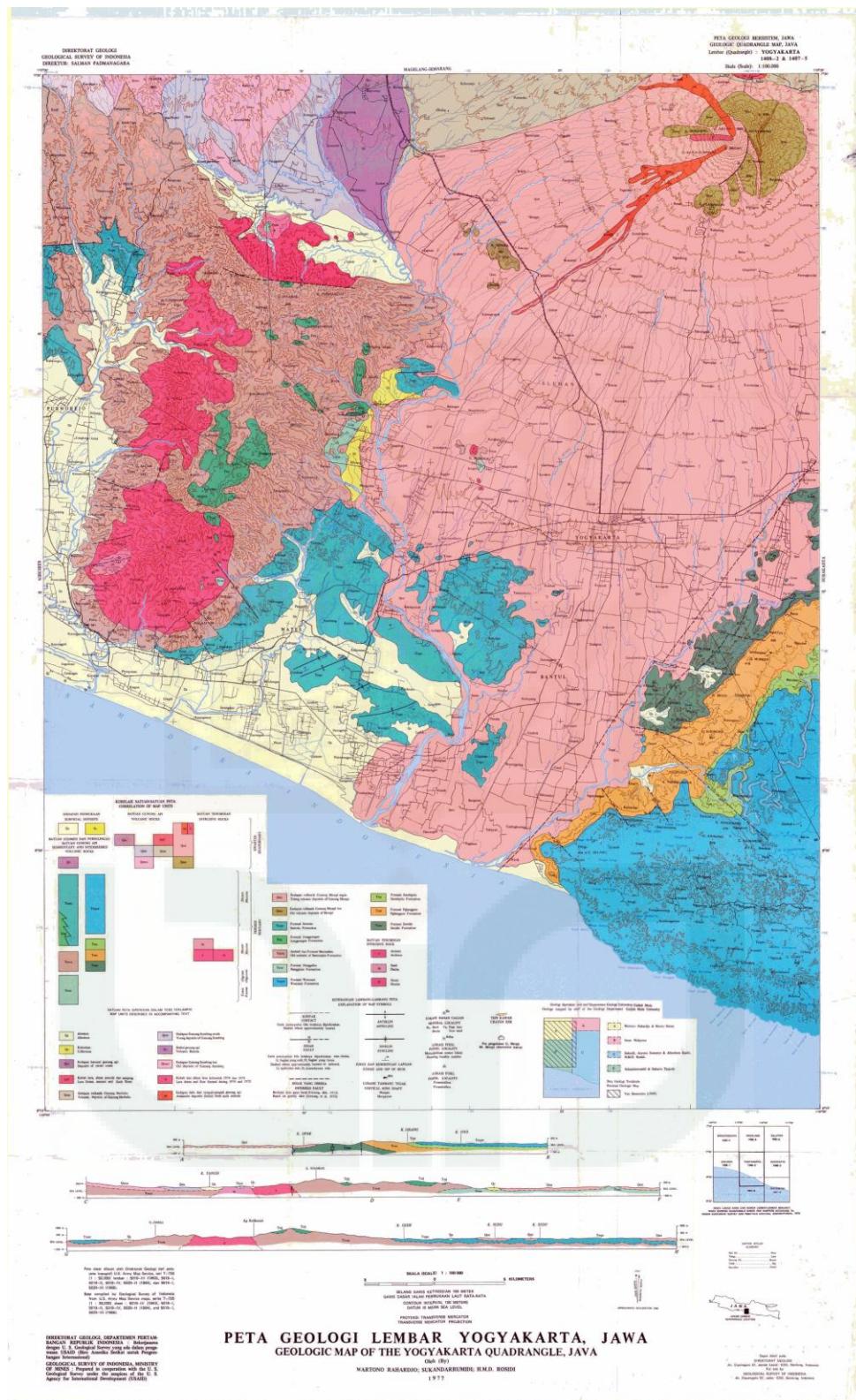
sekitar Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta.

2.2 Tinjauan Lokasi Penelitian

2.2.1 Tinjauan Geologi Regional dan Sekitarnya.

Yogyakarta memiliki struktur geologi yang unik yaitu adanya patahan atau sesar Opak. Patahan Opak merupakan patahan normal yang memisahkan dataran tinggi perbukitan Wonosari dengan dataran rendah Yogyakarta yang terisi oleh endapan Merapi yang masih muda. Patahan Opak sekarang ini diinterpretasikan tidak sesederhana patahan normal, karena gempa-gempa besar yang terjadi di Yogyakarta akhir-akhir ini berpusat di sekitar patahan Opak. Di bawah ini peta yang menggambarkan kondisi geologi wilayah Yogyakarta dengan patahan atau sesar Opak.

Patahan ini pernah diteliti di akhir 1980-an dan disimpulkan bahwa ia telah mati, sehingga tidak pernah diperhitungkan sebagai salah satu potensi bahaya bagi Yogyakarta dan sekitarnya. (Purnomo Raharjo dan Yogi Noviadi, 2006). Fokus potensi bahaya di Yogyakarta kemudian lebih ditekankan pada ancaman letusan Merapi serta gerakan tanah. Patahan Opak nampaknya aktif kembali semenjak terjadinya gempabumi di Yogyakarta yang berpusat disekitar patahan tersebut. Yogyakarta. Dengan adanya gempa yang terjadi di Yogyakarta yang berpusat di jalur Sesar Opak, maka patahan ini perlu dikaji kembali dan di analisa kembali sebab akibatnya hal tersebut harus di ketahui disekitaran jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Dengan adanya teori dan asumsi bawasannya Sesar Opak berada di wilayah Yogyakarta maka dari itu dapat di lihat pada peta geologi Yogyakarta Gambar 2.1 beserta kondisi geologinya.



Gambar 2.1. Peta Geologi Lembar Yogyakarta
(Sumber: kumpulan peta Wartono Raharjo)

2.3 Gempabumi

2.3.1 Pengertian Gempabumi

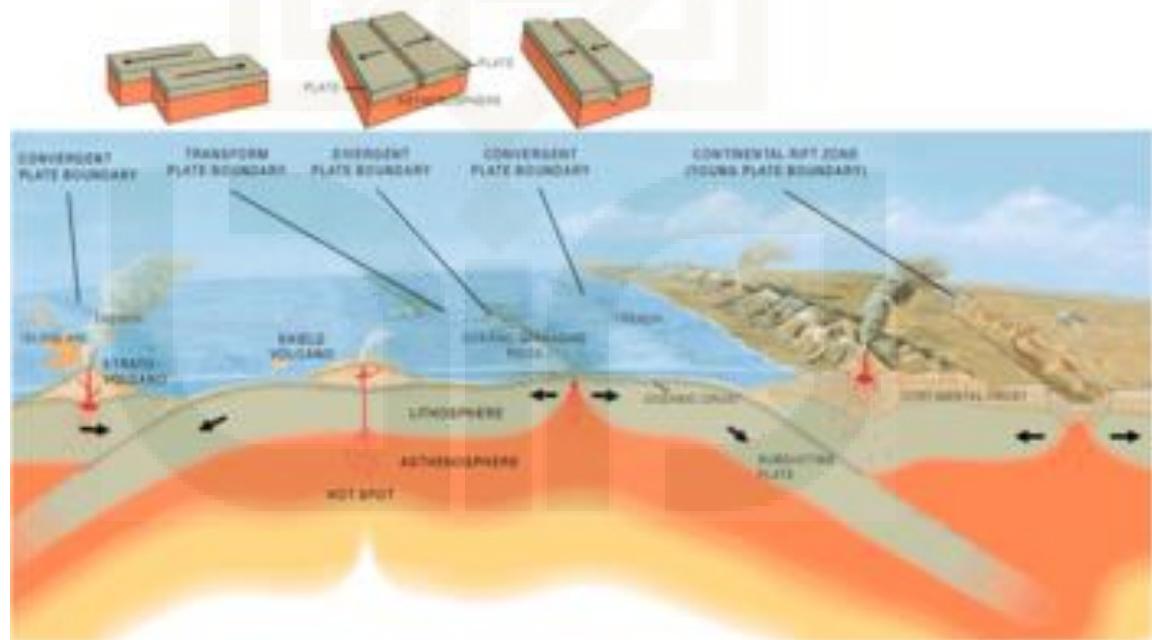
Gempabumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba. Gempabumi bisa disebabkan pergerakan kerak bumi (lempeng bumi). Energi yang dihasilkan di pancarkan ke segala arah berupa gelombang seismik sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (BMKG, 2012). Gempabumi diukur dengan menggunakan alat seismometer. Moment magnitude adalah skala paling umum dimana gempabumi terjadi untuk seluruh dunia. Getaran gempabumi biasa dinyatakan dalam skala ricther (SR). Ilmuwan yang mempelajari tentang gempabumi disebut dengan seismologist dan alat yang digunakan seismologist untuk mengukur setiap getaran yang terjadi disebut seismograf.

2.3.2 Penyebab Terjadinya Gempabumi

Menurut teori lempeng tektonik, permukaan bumi terpecah menjadi beberapa lempeng tektonik besar. Lempeng tektonik adalah segmen keras kerak bumi yang mengapung di atas astenosfer yang cair dan panas. Oleh karena itu, maka lempeng tektonik ini bebas untuk bergerak dan saling berinteraksi satu sama lain. Daerah perbatasan lempeng-lempeng tektonik, merupakan tempat-tempat yang memiliki kondisi tektonik yang aktif, yang menyebabkan gempabumi, gunung berapi dan pembentukan daratan tinggi. Teori lempeng tektonik merupakan kombinasi dari teori sebelumnya yaitu Teori Pergerakan Benua (*Continental Drift*) dan Pemekaran Dasar Samudera (*Sea Floor Spreading*).

Lapisan paling atas bumi, yaitu litosfir, merupakan batuan yang relatif dingin dan bagian paling atas berada pada kondisi padat dan kaku. Di bawah lapisan ini terdapat batuan yang jauh lebih panas yang disebut dengan mantel bumi. Lapisan ini sedemikian panasnya sehingga dalam keadaan tidak dalam keadaan kaku, sehingga dapat bergerak sesuai dengan proses pendistribusian panas yang kita kenal sebagai aliran konveksi. Lempeng tektonik yang merupakan bagian dari litosfir padat dan terapung di atas mantel bumi ikut bergerak satu sama lainnya. Ada tiga kemungkinan pergerakan satu lempeng tektonik relatif terhadap lempeng lainnya, yaitu apabila kedua lempeng saling menjauhi (*divergen*), saling mendekati (*konvergen*) dan saling geser (*transform*).

Sketsa jenis pertemuan lempeng tektonik dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2.2 Sketsa jenis pertemuan lempeng tektonik (Thomson, 2006)

Umumnya, gerakan ini berlangsung lambat dan tidak dapat dirasakan oleh manusia namun terukur sebesar 0-15 cm pertahun. Kadang-kadang, 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 tersebut sehingga terjadi pelepasan mendadak yang kita kenal sebagai gempabumi.

2.3.3 Parameter Gempabumi

Hasil rekaman getaran permukaan tanah yang diakibatkan oleh gempabumi baik analog maupun digital disebut seismograph. Hasil rekaman tersebut dapat memberikan informasi parameter pokok mengenai gempabumi yang terjadi di suatu tempat. Parameter pokok gempabumi tersebut meliputi:

- a. Waktu kejadian gempabumi (*origin time*)
- b. Posisi lintang dan bujur (*latitude/longitude*) episenter (titik pada permukaan bumi yang terletak vertical diatas pusat gempa / (hiposenter)).
- c. Kedalaman pusat gempabumi (kedalaman hiposenter). Sering disebut juga dengan istilah *focal depth*.
- d. Kekuatan gempabumi (*magnitudo*)

Parameter origin time, episenter, dan hiposenter disebut sebagai parameter kinematik, karena untuk menentukannya hanya diperlukan waktu penjalaran gelombang. Sedangkan parameter kekuatan gempabumi (*magnitudo*) berkaitan dengan energi yang dipancarkan oleh sumber gempa disebut sebagai parameter dinamik, karena untuk menentukannya diperlukan pengukuran amplitudo dan periode.

2.3.4 Jenis Gempabumi

Gempabumi berdasarkan sumber kegempaannya dapat digolongkan menjadi empat jenis, yaitu :

- a. Gempa Vulkanik, gempabumi ini terjadi akibat adanya aktivitas magma yang biasa terjadi sebelum gunung berapi meletus. Apabila keaktifannya semakin tinggi maka akan menyebabkan terjadinya ledakan yang juga akan menimbulkan gelombang seismik.
- b. Gempa tektonik, gempabumi ini terjadi disebabkan oleh adanya aktivitas tektonik, yaitu pergeseran lempeng-lempeng tektonik yang mempunyai kekuatan yang sangat bervariasi. Gempabumi ini banyak menimbulkan kerusakan atau bencana alam di permukaan bumi, getaran gempabumi yang kuat mampu menjalar keseluruh bagian bumi.
- c. Gempabumi runtuhan, gempabumi ini biasanya terjadi pada daerah kapur ataupun daerah pertambangan, jenis gempabumi ini jarang terjadi dan bersifat lokal.
- d. Gempabumi buatan, gempabumi buatan adalah getaran pada bumi yang disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti peledakan dinamit, nuklir atau palu yang dipukulkan di permukaan bumi untuk kegiatan eksplorasi.

Gempabumi berdasarkan kedalamannya dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu (Irmans Sonjaya, 2008:6-7).

- a. Gempabumi Dangkal, gempabumi dangkal adalah gempabumi yang hiposenternya berada kurang dari 50 km dari permukaan bumi. Di Indonesia gempabumi dangkal letaknya terpancar di sepanjang sesar aktif

dan patahan aktif. Gempabumi dangkal menimbulkan kerusakan besar dan semakin dangkal tempat terjadinya gempabumi maka daya perusak semakin besar.

- b. Gempabumi Menengah, gempabumi menengah adalah gempabumi yang hiposenternya berada diantara 50-300 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 focus kurang dari 150 km dibawah permukaan masih dapat menimbulkan kerusakan.
- c. 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.

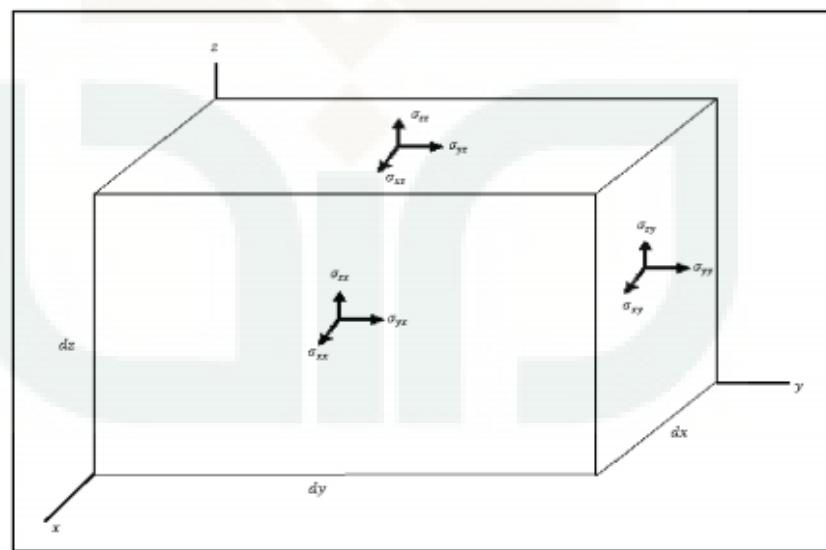
2.4 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang elastik yang menjalar ke seluruh bagian dalam bumi dan melalui permukaan bumi akibat adanya lapisan batuan yang patah secara tiba – tiba atau adanya suatu ledakan (Ibrahim dkk,2005).

Gelombang seismik atau gelombang elastik terdiri atas dua jenis, yaitu gelombang tubuh (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Metode seismik memanfaatkan penjalaran gelombang seismik ke dalam bumi. Yang menjadi objek perhatian utama pada rekaman gelombang seismik dalam metode

ini ialah *body wave* yang terdiri dari gelombang P dan gelombang S. Gelombang ini merupakan gelombang yang energinya ditransfer melalui medium di dalam bumi. Sedangkan pada *surface wave* transfer energinya pada permukaan bebas, tidak terjadi penetrasi ke dalam medium bumi dan hanya merambat di permukaan bumi saja.

Gelombang seismik bermula dari usikan mekanis pada suatu tempat yang kemudian menjalar di dalam medium (Hilman Saputra, 2006). Usikan mekanis ini menimbulkan ketidakseimbangan gaya-gaya yang bekerja pada medium tersebut. Persamaan gerak gelombang seismik dapat dijelaskan dengan meninjau gaya – gaya yang bekerja pada sebuah medium berbentuk kubus dengan panjang sisi dx , dy , dz mendekati nol (Gambar 2.2) (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) (Laberrta, 2013).



Gambar 2.2 Tinjauan gaya-gaya yang bekerja pada medium berbentuk kubus

Berdasarkan gambar, gaya total yang bekerja sejajar sumbu x adalah :

$$F = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (2.1)$$

Apabila gaya tersebut menyebabkan pergeseran partikel medium sejauh u , maka sesuai Hukum Newton :

$$F = m \cdot a \quad (2.2)$$

Dengan $m = \rho dx dy dz$ dan $a = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$

Persamaan (2.1) dapat dituliskan

$$\rho dx dy dz \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (2.3)$$

Dapat disederhanakan menjadi :

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \right) \quad (2.4)$$

Persamaan (2.4) menyatakan pergeseran partikel sejajar sumbu x, dengan analogi yang sama, pergeseran partikel sejajar sumbu y adalah :

$$\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \right) \quad (2.5)$$

Dan pergeseran partikel sejajar sumbu z adalah :

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \right) \quad (2.6)$$

Berdasarkan hubungan antara tegangan dan regangan diperoleh

$$\sigma_{xx} = \lambda \theta + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.7)$$

$$\sigma_{xy} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (2.8)$$

$$\sigma_{xz} = \mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (2.9)$$

$$\text{Dan regangan volum (dilatasi)} : \theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad (2.10)$$

Dengan mensubtitusikan persamaan (2.7), (2.8), (2.9) kedalam persamaan (2.4), (2.5), (2.6) maka diperoleh persamaan (2.4) menjadi

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \quad (2.11)$$

Persamaan (2.5) menjadi

$$\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \quad (2.12)$$

Dan persamaan (2.6) menjadi

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \frac{\partial \theta}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \quad (2.13)$$

Dengan u, v, w : pergeseran partikel

λ : konstanta lame

μ : modulus geser (N/m^2)

ρ : densitas batuan (Kg/m^3)

Untuk mendapatkan persamaan gerak gelombang dilakukan pendeferensialan persamaan (2.11), (2.12), (2.13) terhadap masing –

masing arah geraknya (x,y dan z), kemudian hasilnya dijumlahkan dan diperoleh :

$$\begin{aligned}\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} &= \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) \\ &= (\lambda + \mu) \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) + \mu \nabla^2 \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\end{aligned}\quad (2.14)$$

Dapat diringkas menjadi $\rho \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \nabla^2 \theta + \mu \nabla^2 \theta \quad (2.15)$

atau $\rho \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = (\lambda + 2\mu) \nabla^2 \theta \quad (2.16)$

atau $\frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = \nabla^2 \theta \quad (2.17)$

dengan $\alpha = \frac{(\lambda+2\mu)}{\rho} \quad (2.18)$

Persamaan (2.17) merupakan persamaan gelombang P dengan kecepatan rambat α . Untuk mendapatkan persamaan gelombang S pada sumbu x, kurangkan hasil pendeferensialan persamaan (2.13) kearah sumbu y dengan persamaan (2.12) kearah sumbu z

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \mu \nabla^2 \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2.19)$$

Menurut notasi Rotasi dapat ditulis

$$\rho \frac{\partial^2 \Omega_x}{\partial t^2} = \mu \nabla^2 \Omega_x \quad (2.20)$$

Atau $\frac{1}{\beta^2} \frac{\partial^2 \Omega_x}{\partial t^2} = \nabla^2 \Omega_x \quad (2.21)$

$$\text{Dengan} \quad \beta = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.22)$$

Disini fungsi gelombang Ω_x menyatakan gerak rotasi tegak lurus sumbu x, sedangkan perambatan gelombangnya searah sumbu x, persamaan (2.21) merupakan persamaan gelombang S pada sumbu x dengan kecepatan rambat \hat{a} . Gerak gelombang Rotasi (transversal) menyebabkan gerakan partikel – partikel medium tegak lurus arah perambatan gelombang (Hilman Saputra, 2006)

a. Gelombang Badan (*Body wave*)

Gelombang badan merupakan gelombang menjalar melalui bagian dalam bumi dan biasanya disebut *free wave* karena dapat menjalar ke segala arah di dalam bumi. Gelombang ini terdiri dari gelombang primer dan gelombang sekunder. Gelombang primer merupakan gelombang longitudinal atau gelombang kompresional, gerakan partikel sejajar dengan arah perambatannya. Gelombang primer merupakan gelombang yang sangat cepat dengan kecepatan 4 km/s sampai 7 km/s. Kecepatan rambat gelombang primer dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{\mu^4}{3}}{\rho}} \quad (2.22)$$

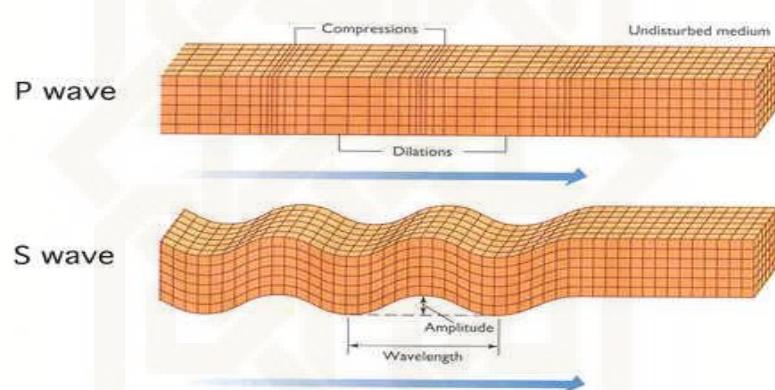
Dengan V_p adalah cepat rambat gelombang (m/s), K adalah modulus bulk (N/m^2), μ adalah modulus geser (N/m^2), ρ adalah massa jenis (kg/m^3). Sedangkan gelombang sekunder merupakan gelombang transversal atau gelombang *shear*, gerakan partikel terletak pada suatu bidang yang tegak lurus dengan arah penjalarannya. Gelombang sekunder memiliki

kecepatan yang lebih rendah dibandingkan dengan gelombang primer.

Kecepatan rambat gelombang S dapat dinyatakan sebagai :

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.23)$$

dengan V_s adalah cepat rambat gelombang (m/s), μ adalah modulus geser (N/m^2), ρ adalah massa jenis (kg/m^3). Ilustrasi gerak partikel gelombang primer dan gelombang sekunder ditunjukan pada Gambar 2.3

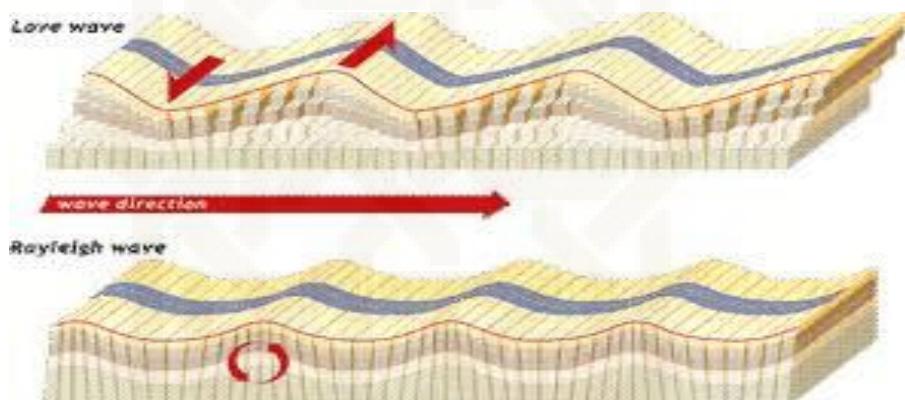


Gambar 2.3 (a) Ilustrasi gerak partikel gelombang Primer; (b) Ilustrasi gerak partikel gelombang Sekunder (Aster:2011:16)

b. Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan gelombang yang zona rambatannya berada di kerak bumi. Gelombang ini memiliki frekuensi dominan dominan tanah yang lebih rendah dibandingkan dengan gelombang badan. Gelombang permukaan di bedakan menjadi dua, yaitu gelombang *love* dan gelombang *rayleigh*. Gelombang *love* merupakan gelombang yang arah gerakan partikel berada pada sumbu horizontal dan tidak menghasilkan perpindahan pada sumbu vertikal. Pergerakan partikel gelombang *love* sejajar dengan permukaan tetapi tegak lurus dengan arah

rambatnya. Gelombang *love* lebih cepat dibandingkan gelombang *rayleigh* dan lebih dulu sampai pada seismograf. Gelombang *rayleigh* merupakan gelombang yang gerakan partikelnya membentuk elips. Geombang *Rayleigh* dihasilkan gelombang P dan gelombang dating S yan berinteraksi pada permukaan bebas dan merambat sejajar pada permukaan tersebut (Laberrta, 2013). Ilustrasi gerak partikel gelombang *love* dan gelombang *rayleigh* ditunjukkan pada Gambar 2.4



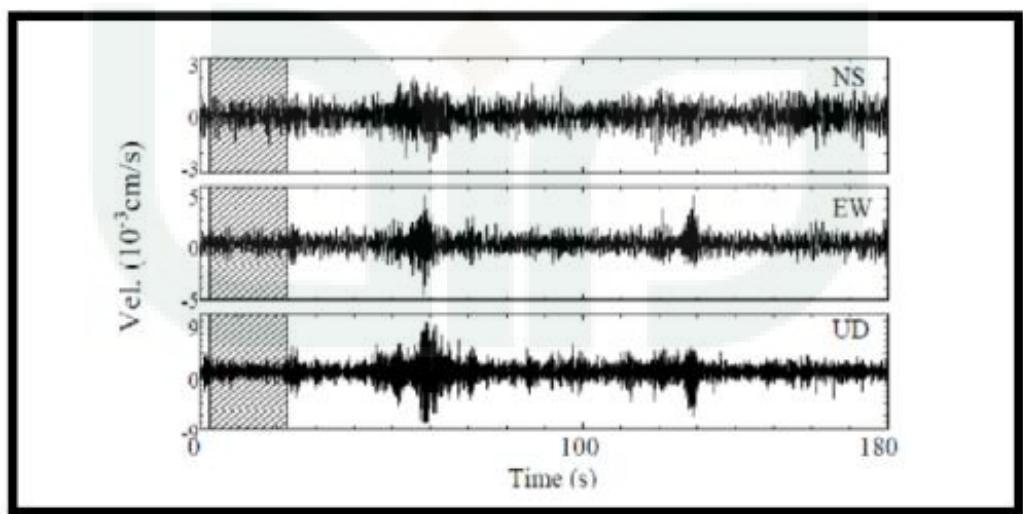
Gambar 2.4 (a) Ilustrasi gerak partikel gelombang Love; (b) Ilustrasi gerak partikel gelombang Rayleigh (Aster, 2011:16)

2.5 Mikroseismik

Mikroseismik merupakan getaran tanah selain gempa bumi, bisa berupa getaran akibat aktivitas manusia maupun aktivitas alam. Mikroseismik bisa terjadi karena getaran akibat orang yang sedang berjalan, getaran mobil, getaran mesinmesin pabrik, getaran angin, gelombang laut atau getaran alamiah dari tanah (Tokimatsu,1995). Mempunyai frekuensi dominan tanah lebih tinggi dari frekuensi dominan tanah gempabumi, periodenya kurang dari 0,1 detik yang secara umum antara 0.05 – 2 detik dan untuk mikroseismik periode panjang bisa 5 detik, sedang amplitudennya berkisar 0,1 – 2,0 mikron. Kaitannya dengan

mikroseismik, mikrotremor merupakan getaran tanah yang menjalar dalam bentuk gelombang yang disebut gelombang mikroseismik.

Belakangan ini aplikasi mikroseismik digunakan untuk mengidentifikasi resonansi frekuensi dominan tanah (Gosar, 2007). Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui karakteristik tanah tanpa merusak tanah bagian yang diteliti. Mikroseismik merupakan getaran tanah dengan pergeseran amplitudo sekitar $0,1 - 1 \mu\text{m}$ dengan kecepatan amplitudo $0,001 \text{ cm/s}$ sampai $0,01 \text{ cm/s}$. Mikroseismik diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan rentang periodenya. Jenis pertama adalah mikroseismik 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 mikroseismik periode panjang dengan periode lebih dari 1 detik, keadaan ini terkait dengan struktur tanah yang lebih dalam menuju ke dasar dari batuan keras.



Gambar 2.5 Tampilan mikroseismik pada perangkat lunak (mirzaoglu et al., 2003: 148)

2.6 HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*)

Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) digunakan untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan tanah dan faktor amplifikasi dengan melakukan pengukuran mikroseismik. Karakteristik mikroseismik mencerminkan karakteristik batuan di suatu wilayah. Nilai frekuensi dominan tanah dan faktor amplifikasi hasil pengukuran digunakan untuk membuat peta kerawanan lokasi dari aspek bahaya seismik.

HVSR adalah metode yang didasarkan pada asumsi bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan sebagai perkiraan fungsi perpindahan. Kebenaran dari metode ini telah dibuktikan dengan menggunakan hasil pengamatan mikroseismik di beberapa penelitian.

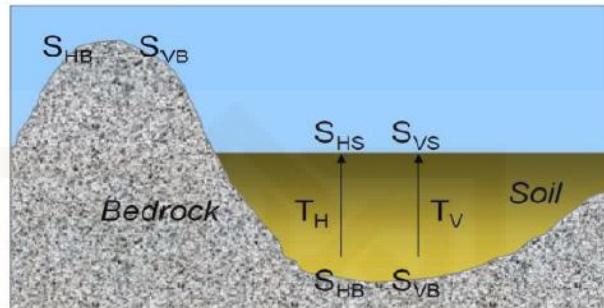
Pada tahun 1989, Nakamura mencoba memisahkan efek sumber gelombang dengan efek geologi dengan cara menormalisir spektrum komponen horizontal dengan komponen vertikal pada titik ukur yang sama. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa rekaman pada stasiun yang berada pada batuan keras, nilai maksimum rasio spektrum komponen horizontal terhadap vertikal mendekati nilai 1.

Sedangkan pada stasiun yang berada pada batuan lunak, rasio nilai maksimumnya mengalami perbesaran (faktor amplifikasi), yaitu lebih besar dari 1. Berdasarkan kondisi tersebut maka, Nakamura merumuskan sebuah fungsi transfer HVSR (*horizontal to vertical spectrum ratio*) mikroseismik.

Faktor amplifikasi atau amplitudo dari gerakan horizontal dan vertikal pada permukaan tanah sedimen berdasarkan pada gerakan seismik dipermukaan tanah

yang bersentuhana langsung dengan batuan dasar diarea cekungan dilambangkan dengan A_{0H} dan A_{0V} (Nakamura, 2000:5 dalam Labertta, 2013)

Asumsi yang digunakan Nakamura dapat ditunjukan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 model cekungan yang berisi material sedimen halus (slob 2007 dalam labertta, 2013)

Besarnya faktor amplifikas horizontal (T_H)adalah:

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (2.25)$$

Keterangan:

T_H = Faktor amplifikasi horizontal

S_{HS} = Spektrum dari gerak horizontal dipermukaan tanah

S_{HB} = Spektrum dari gerak horizontal dilapisan dasar tanah

Besarnya faktor amplifikas vertikal (T_v)adalah:

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (2.26)$$

Keterangan:

T_V = Faktor amplifikasi vertikal

S_{VS} = Spektrum dari gerak vertikal dipermukaan tanah

S_{VB} = Spektrum dari gerak vertikal dilapisan dasar

Karena Hasil pengamatan nakamura sebelumnya menunjukan bahwa rekaman pada stasiun yang berada pada batuan keras yang bisa kita asumsikan

sebagai batuan dasar, nilai maksimum rasio spektrum komponen horizontal terhadap vertical mendekati nilai 1. Sehingga:

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \approx 1 \quad (2.27)$$

Jika dibulatkan maka akan menjadi:

$$\frac{S_{HB}}{S_{VB}} = 1 \quad (2.28)$$

$$\frac{S_{VB}}{S_{HB}} = 1 \quad (2.29)$$

Pembulatan dilakukan karena hasilnya mendekati satu (Mirzaoglu et al, dalam Labertta 2013)

Karena hasil pengukuran perbandingan spektrum horizontal dan vertikal pada batuan keras telah diketahui hasilnya, yaitu mendekati satu, maka kembali pada tujuan awal Nakamura untuk mencari persamaan fungsi trasver gelombang yang dipengaruhi oleh struktur geologi lokal atau *site effect* (T_{SITE}) berupa perbandingan antara faktor amplifikasi horizontal dan vertikal, yang mana diterjemahkan dalam persamaan matematis pada persamaan 2.30

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} \quad (2.30)$$

Melalui persamaan (2.25) dan (2.26) yang disubtitusikan kedalam persamaan (2.30) diperoleh T_{SITE} sebagai berikut:

$$T_{SITE} = \frac{\frac{S_{HS}}{S_{HB}}}{\frac{S_{VS}}{S_{VB}}} \quad (2.31)$$

$$T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \times \frac{S_{VB}}{S_{VS}} \quad (2.32)$$

Dengan memasukan persamaan (2.29) kedalam persamaan (2.32), maka akan menjadi:

$$T_{SITE} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (2.33)$$

$$T_{SITE} = HVSR = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (2.34)$$

$$T_{SITE} = HVSR = \frac{\sqrt{S_{(Utara-selatan)}^2 + S_{(Barat-timur)}^2}}{S_{VS}} \quad (2.35)$$

Keterangan

HVSR = *Horizontal to Vertikal Spectrum Ratio*

S_{HS} = Spektrum arah horizontal

S_{VS} = Spektrum arah vertical

$S_{(Utara-selatan)}$ = Spektrum horizontal arah utara-selatan

$S_{(Barat-Timur)}$ = Spektrum horizontal arah barat-timur

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

2.7 Transformasi Fourier, DFT

a. Transformasi Fourier

Transformasi Fourier digunakan untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu (t) ke domain frekuensi dominan tanah $X(f)$ yang didefinisikan sebagai (Manolakis and Ingle, 2011):

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (2.36)$$

di mana $j(\sqrt{-1})$ adalah bilangan imaginer, f adalah frekuensi dominan tanah dan t adalah waktu. Transformasi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi dominan tanah diperoleh dengan mencari persamaan deret Fourier dari (t) yang dinyatakan dengan superposisi fungsi sinus dan kosinus, dengan n yaitu domain waktu yaitu :

$$(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_n e^{-jnw_0 t} \quad (2.37)$$

Persamaan (7) digunakan untuk menentukan koefisien Fourier yang diperoleh dari mengkalikan kedua sisi dengan $e^{-jkw_0 t}$

$$x(t) e^{-jkw_0 t} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_n e^{-jnw_0 t} e^{-jkw_0 t} \quad (2.38)$$

Integralkan kedua sisi dari 0 hingga $T_0 = 2\pi/w_0$ sehingga

$$\int_0^{T_0} x(t) e^{-jkw_0 t} dt = \int_0^{T_0} \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k e^{-jnw_0 t} e^{-jkw_0 t} dt \quad (2.39)$$

T_0 adalah periode fundamental dari fungsi (t) , integrasi dan penjumlahan persamaan (2.39) diperoleh

$$\int_0^{T_0} X(t) e^{-jkw_0 t} dt = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \int_0^{T_0} e^{-j(n-k)w_0 t} dt \quad (2.40)$$

Untuk $n \neq k$, maka integral di sisi kanan adalah nol. Untuk $n=k$, nilai e^0 di sisi kanan sama dengan 1, sehingga nilai integralnya adalah T_0 .

$$\int_0^{T_0} e^{-j(n-k)w_0 t} dt = \begin{cases} T_0, & n = k \\ 0, & n \neq k \end{cases} \quad (2.41)$$

Persamaan (2.41) hanya akan mempunyai nilai ketika $k=n$, sehingga diperoleh

$$\int_0^{T_0} x(t) e^{-jkw_0 t} dt = a_k T_0 \quad (2.42)$$

maka koefisien fourier a_k didefinisikan sebagai

$$a_k = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} x(t) e^{-jkw_0 t} dt \quad (2.43)$$

Untuk menghitung koefisien Fourier dari sinyal yang periodik dengan interval

$\frac{-T_0}{2} < t < \frac{T_0}{2}$ maka persamaan (2.43) menjadi

$$a_k = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t) e^{-jk\omega_0 t} dt \quad (2.44)$$

Ketika T_0 bertambah besar, ω_0 akan bertambah kecil maka jarak antar koefisien Fourier menjadi semakin kecil. Ketika T_0 mendekati nilai tak hingga, maka koefisien Fourier dinyatakan sebagai

$$a_k T_0 = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-jk\omega_0 t} dt \quad -\infty < k < \infty \quad (2.45)$$

Dimana k adalah indeks domain frekuensi dominan tanah, $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$ adalah frekuensi dominan tanah fundamental dalam radian per sekon, dan $f_0 = \frac{1}{T_0}$ adalah frekuensi dominan tanah fundamental dalam Hz. Dengan mengubah $X(f) = T_0 a_k$ dan $\omega = k\omega_0$ maka diperoleh persamaan transformasi fourier seperti pada persamaan (2.36).

b. DFT (*Discrete Fourier Transform*)

DFT adalah metode atau algoritma untuk mengetahui komponen-komponen frekuensi dominan tanah harmonik beserta amplitudonya dari sebuah sinyal periodik atau merupakan deret Fourier. DFT juga memperlihatkan hubungan antara domain waktu dengan domain frekuensi dominan tanah. Oleh karena itu, DFT dapat diaplikasikan untuk analisis frekuensi dominan tanah dari sebuah rangkaian sinyal domain waktu. Persamaan DFT diperoleh dengan cara mengubah notasi integral pada persamaan (2.43) menjadi notasi sigma dengan substitusi $T_0 = NT$, $f_0 = \frac{1}{T_0}$, $dt = T$ dan $t = nT$, sehingga dapat didefinisikan sebagai:

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{\frac{-j2\pi kn}{N}} \quad (2.56)$$

Dengan $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$ adalah indeks dalam domain frekuensi dominan tanah atau bilangan bulat yang menyatakan komponen harmonik ($f = kf_0$) dan $n=0, 1, 2, 3, \dots, N-1$ adalah domain waktu.

c. FFT (*Fast Fourier Transform*)

FFT adalah metode perhitungan koefisien Fourier yang sebelumnya dihitung dengan DFT, tetapi lebih efisien dengan algoritma yang tidak mengubah esensi dari DFT itu sendiri. Sinyal digital yang merupakan data diskrit $x(n)$ terdiri dari 2^m data, di mana m merupakan bilangan positif sehingga $N=2, 4, 8, 16, \dots$ dst. Jika (n) tidak sama jumlahnya dengan 2^m maka harus ada *zero padding*, yaitu menambahkan data $x(n)=0$ sampai jumlah data $x(n)$ mencapai nilai 2^m .

Dalam FFT terdapat dua algoritma yaitu *decimation in frequency algorithm* (DIF) dan *decimation in time algorithm* (DIT). Kedua algoritma tersebut merujuk pada algoritma FFT *radix*, yaitu metode dalam FFT yang digunakan untuk pengolahan sinyal sehingga lebih efisien dan cepat. Bermula dari persamaan (16), misal $WN = e^{\frac{-j2\pi}{N}}$ sebagai faktor *twiddle* dan $N=2, 4, 6, 8, 16, \dots 2^m$ dapat dikembangkan sebagai

$$X(k) = x(0) + x(1)W_N^{K(0)} + x(2)W_N^{K(1)} + \dots + x(N-1)W_N^{K(N-1)} \quad (2.47)$$

kemudian $x(n)$ dikelompokkan menjadi suku genap dan ganjil sehingga persamaan (17) menjadi

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n)W_N^{2nk} + \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)} x(2n+1)W_N^{(2n+1)k} \quad (2.48)$$

Suku kedua (ganjil) pada persamaan (18) dapat dituliskan ulang

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n) W_N^{2nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n+1) W_N^{2nk} \quad (2.49)$$

dengan menggunakan $W_N^2 = e^{\frac{-j2\pi 2}{N}} = e^{\frac{-j2\pi}{N/2}}$ maka $W_N^2 = W_{\frac{N}{2}}$, sehingga persamaan

(2.49) menjadi:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n) W_{\frac{N}{2}}^{nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n+1) W_{\frac{N}{2}}^{nk} \quad (2.50)$$

dengan $k=0, 1, \dots, \frac{N}{2}-1$

Persamaan (2.50) didefinisikan dalam dua fungsi baru yaitu:

Fungsi genap:

$$G(k) = \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n) W_{\frac{N}{2}}^{n(k+\frac{N}{2})} = \text{DFT}[x(2n) \text{ dengan } \frac{N}{2} \text{ data}] \quad (2.51)$$

Fungsi ganjil:

$$(k) = \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n+1) W_{\frac{N}{2}}^{nk} = \text{DFT}[x(2n+1) \text{ dengan } \frac{N}{2} \text{ data}] \quad (2.52)$$

Setelah domain waktu dibagi dua, maka domain frekuensi dominan tanah juga dibagi dua sehingga persamaan (2.51) akan menjadi $G(k) = G(k + \frac{N}{2})$ dengan

$k=0, 1, \dots, \frac{N}{2}-1$ dan persamaan (2.52) akan menjadi $H(k) = H(k + \frac{N}{2})$ dengan

$k=0, 1, \dots, \frac{N}{2}-1$. Subtitusi persamaan (2.51) dan (2.52) ke dalam persamaan (2.50)

sehingga menghasilkan persamaan:

$$(k) = G(k) + W_N^k H(k) \quad k = 0, 1, \dots, \frac{N}{2}-1 \quad (2.53)$$

Persamaan (2.50) dan (2.53) merupakan FFT *radix-2 Decimation in Time* dengan cara membagi data menjadi 2 bagian. Selain itu FFT *radix-2* dapat dihitung menggunakan metode pendekatan matrik. Persamaan (2.54) merupakan susunan matrik asli yang meliputi matrik domain frekuensi dominan tanah, matrik *kernel*, dan matrik domain waktu dari data:

$$\begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & w_8 & w_8^2 & w_8^3 & w_8^4 & w_8^5 & w_8^6 \\ 1 & w_8^2 & w_8^4 & w_8^6 & w_8^8 & w_8^{10} & w_8^{12} \\ 1 & w_8^3 & w_8^6 & w_8^9 & w_8^{12} & w_8^{15} & w_8^{18} \\ 1 & w_8^4 & w_8^8 & w_8^{12} & w_8^{16} & w_8^{20} & w_8^{24} \\ 1 & w_8^5 & w_8^{10} & w_8^{15} & w_8^{20} & w_8^{25} & w_8^{30} \\ 1 & w_8^6 & w_8^{12} & w_8^{18} & w_8^{24} & w_8^{30} & w_8^{36} \\ 1 & w_8^7 & w_8^{14} & w_8^{21} & w_8^{28} & w_8^{35} & w_8^{42} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (24)$$

Periodisitas dan simetri dari matrik DFT dapat digambarkan oleh setiap W_N^{kn} sebagai sebuah fasor. Untuk W_8 representasi dari sudut fasor 0 ditunjukkan dengan panah ke atas dan rotasi fasor searah jarum jam, seperti ditunjukkan pada persamaan (2.55) (Manolakis and Ingle, 2011).

$$W_8 = \begin{bmatrix} \uparrow & \uparrow \\ \uparrow & \nearrow & \rightarrow & \searrow & \downarrow & \nearrow & \leftarrow & \nwarrow \\ \uparrow & \rightarrow & \downarrow & \leftarrow & \uparrow & \rightarrow & \downarrow & \leftarrow \\ \uparrow & \searrow & \uparrow & \nearrow & \downarrow & \nwarrow & \rightarrow & \swarrow \\ \uparrow & \downarrow & \uparrow & \downarrow & \uparrow & \downarrow & \uparrow & \downarrow \\ \uparrow & \swarrow & \rightarrow & \nwarrow & \downarrow & \nearrow & \leftarrow & \downarrow \\ \uparrow & \leftarrow & \downarrow & \rightarrow & \uparrow & \leftarrow & \downarrow & \rightarrow \\ \uparrow & \nwarrow & \leftarrow & \rightarrow & \downarrow & \uparrow & \rightarrow & \nearrow \end{bmatrix} \quad (25)$$

Struktur dari matrik W_N tersebut untuk mengefisiensikan perhitungan pada DFT dengan $N=8$, sehingga hasil bentuk matrik dapat dinyatakan seperti pada persamaan (2.56).

$$\begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & w_8 & w_8^2 & w_8^3 & w_8^4 & w_8^5 & w_8^6 \\ 1 & w_8^2 & w_8^4 & w_8^6 & 1 & w_8 & w_8^4 \\ 1 & w_8^3 & w_8^6 & w_8 & w_8^4 & w_8^7 & w_8^2 \\ 1 & w_8^4 & 1 & w_8^4 & 1 & w_8^4 & 1 \\ 1 & w_8^5 & w_8^2 & w_8^7 & w_8^4 & w_8 & w_8^6 \\ 1 & w_8^6 & w_8^4 & w_8^2 & 1 & w_8^6 & w_8^4 \\ 1 & w_8^7 & w_8^6 & w_8^5 & w_8^4 & w_8^3 & w_8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (26)$$

Dengan menggunakan matrik identitas $W_8^4 = -1$, maka persamaan matrik pada persamaan (2.58) dapat dikelompokkan menjadi suku genap dan ganjil seperti ditunjukkan pada persamaan (2.57):

$$\begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & w_8^2 & w_8^4 & w_8^6 & w_8 & w_8^3 & w_8^5 \\ 1 & w_8^4 & 1 & w_8^4 & w_8^2 & w_8^6 & w_8^2 \\ 1 & w_8^6 & w_8^4 & w_8^2 & w_8^3 & w_8 & w_8^7 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & w_8^2 & w_8^4 & w_8^6 & -w_8 & -w_8^3 & -w_8^5 \\ 1 & w_8^4 & 1 & w_8^4 & -w_8^2 & -w_8^6 & -w_8^2 \\ 1 & w_8^6 & w_8^4 & w_8^2 & -w_8^3 & -w_8 & -w_8^7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (2.57)$$

Matrik pada persamaan (2.57) dapat disusun menjadi matrik yang lebih kecil seperti ditunjukkan pada persamaan (2.58)

$$\begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & w_8^2 & w_8^4 & w_8^6 \\ 1 & w_8^4 & 1 & w_8^4 \\ 1 & w_8^6 & w_8^4 & w_8^2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & w_8^2 & w_8^4 & w_8^6 \\ 1 & w_8^4 & 1 & w_8^4 \\ 1 & w_8^6 & w_8^4 & w_8^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[2] \\ x[4] \\ x[6] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ w_8 & w_8^3 & w_8^5 & w_8^7 \\ w_8^2 & w_8^6 & w_8^2 & w_8^6 \\ w_8^3 & w_8 & w_8^7 & w_8^5 \\ -1 & -1 & -1 & -1 \\ -w_8 & -w_8^3 & -w_8^5 & -w_8^7 \\ -w_8^2 & -w_8^6 & -w_8^2 & -w_8^6 \\ -w_8^3 & -w_8 & -w_8^7 & -w_8^5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[1] \\ x[3] \\ x[5] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

Setelah menggunakan *radix-2*, berikut akan dirumuskan FFT *radix-4* dengan cara DFT sebanyak N data dibagi menjadi empat bagian seperti pada persamaan (1).

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n) W_N^{(4n)k} + \sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n+1) W_N^{(4n+1)k} + \sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n+2) W_N^{(4n+2)k} + \sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n+3) W_N^{(4n+3)k} \quad (2.59)$$

Dengan menguraikan suku kedua, ketiga, dan keempat, maka persamaan (2.59) dapat ditulis ulang menjadi:

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n) W_N^{(4n)k} + W_N^k \sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n+1) W_N^{(4n)k} + W_N^{2k} \sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n+2) W_N^{(4n)k} + W_N^{3k} \sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n+3) W_N^{(4n)k} \quad (2.60)$$

Setelah membagi waktu menjadi empat, maka frekuensi dominan tanah dibagi empat dengan $N/4$ tepat setelah diperoleh faktor twiddle $W_N^4 = e^{(-j2\pi)4} = e^{(-j2\pi)4/4} = W_{N/4}$. Dengan mendefinisikan variable baru pada persamaan (30) menjadi:

$$\sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n) W_N^{(4n)k} = \sum_{n=0}^{N/4-1} y_n W_{N/4}^{nk} = Y(k) \quad (2.61)$$

$$\sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n+1) W_N^{(4n)k} = \sum_{n=0}^{N/4-1} Z_n W_{N/4}^{nk} = Z(k) \quad (2.62)$$

$$\sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n+2)W_N^{(4n)k} = \sum_{n=0}^{N/4-1} g_n W_{N/4}^{nk} = G(k) \quad (2.63)$$

$$\sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n+3)W_N^{(4n)k} = \sum_{n=0}^{N/4-1} h_n W_{N/4}^{nk} = H(k) \quad (2.64)$$

maka FFT *radix-4* menjadi

$$x(k) = Y(k) + W_N^k Z(k) + W_N^{2k} G(k) + W_N^{3k} H(k) \quad (2.65)$$

Radix-4 merupakan pengelompokan kembali suku genap dan ganjil yang berawal dari *radix-2*. Dengan menggunakan $N=8$ maka matrik *radix-8* menjadi

$$\begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & w_8^4 & w_8^2 & w_8^6 & w_8 & w_8^5 & w_8^3 & w_8^7 \\ 1 & 1 & w_8^4 & w_8^4 & w_8^2 & w_8^2 & w_8^6 & w_8^6 \\ 1 & 1 & w_8^4 & w_8^6 & w_8^2 & w_8^3 & w_8^7 & w_8 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & w_8^4 & w_8^4 & w_8^4 & w_8^4 \\ 1 & w_8^4 & w_8^2 & w_8^6 & w_8^5 & w_8 & w_8^7 & w_8^3 \\ 1 & 1 & w_8^4 & w_8^4 & w_8^6 & w_8^6 & w_8^2 & w_8^2 \\ 1 & w_8^4 & w_8^6 & w_8^2 & w_8^7 & w_8^3 & w_8^5 & w_8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (2.66)$$

Sama dengan *radix-2*, dengan menggunakan identitas $W_8^4 = -1$, maka persamaan (2.66) menjadi

$$\begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & w_8^4 & w_8^2 & w_8^6 & w_8 & w_8^5 & w_8^3 & w_8^7 \\ 1 & 1 & w_8^4 & w_8^4 & w_8^2 & w_8^2 & w_8^6 & w_8^6 \\ 1 & w_8^4 & w_8^6 & w_8^2 & w_8^3 & w_8^7 & w_8 & w_8^5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & w_8^4 & w_8^2 & w_8^6 & -w_8 & -w_8^5 & -w_8^3 & -w_8^7 \\ 1 & 1 & w_8^4 & w_8^4 & -w_8^2 & -w_8^2 & -w_8^6 & -w_8^6 \\ 1 & w_8^4 & w_8^6 & w_8^2 & -w_8^3 & -w_8^7 & -w_8 & w_8^5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (2.67)$$

Matrik pada persamaan (2.68) kemudian dapat dipecah menjadi matrik-matrik yang lebih kecil, yaitu:

$$\begin{bmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[2] \\ x[3] \\ x[4] \\ x[5] \\ x[6] \\ x[7] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & w_8^4 \\ 1 & 1 \\ 1 & w_8^4 \\ 1 & 1 \\ 1 & w_8^4 \\ 1 & 1 \\ 1 & w_8^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[0] \\ x[4] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ w_8^2 & w_8^6 \\ w_8^4 & w_8^4 \\ w_8^6 & w_8^2 \\ 1 & 1 \\ w_8^2 & w_8^6 \\ w_8^4 & w_8^4 \\ w_8^6 & w_8^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[2] \\ x[6] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ w_8 & w_8^5 \\ w_8^2 & w_8^2 \\ w_8^3 & w_8^7 \\ -1 & -1 \\ -w_8 & -w_8^5 \\ -w_8^2 & -w_8^2 \\ -w_8^3 & -w_8^7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[1] \\ x[5] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ w_8^3 & w_8^7 \\ w_8^6 & w_8^6 \\ w_8 & w_8^5 \\ -1 & -1 \\ -w_8^3 & -w_8^7 \\ -w_8^6 & -w_8^6 \\ -w_8 & w_8^5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x[3] \\ x[7] \end{bmatrix} \quad (2.68)$$

Perhitungan menggunakan *radix-4* lebih efisien karena lebih banyak suku yang simetri sehingga perhitungan lebih cepat.

2.8 Frekuensi Dominan Tanah (f_0)

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

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah berdasarkan frekuensi dominan tanah mikroseismik oleh Kanai (Dikutip dari bulletin Meteorologi dan Geofisika No.4 tahun 1998)

Klasifikasi Tanah	Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Jenis I	6,667-20	Batuhan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras (<i>hard sandy gravel</i>) Batuhan alluvial dengan ketebalan 5m.	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
Jenis II	10-4	Terdiri dari pasir berkerikil (<i>sandy hard clay</i>), tanah liat, lempung (<i>loam</i>) dan sebagainya.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah yaitu 5-10 meter.
Jenis III	2,5-4	Batuhan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui (<i>buff formation</i>)	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori tebal, yaitu sekitar 10-30 meter.
Jenis IV	<2,5	Batuhan alluvial yang terbentuk dari	Ketebalan sedimen permukaannya

sedimentasi delta, sangatlah tebal top, soil, lumpur, tanah lunak, humus, endapan Lumpur dll, yang tergolong kedalam tanah lembek, dengan kedalaman 30 m.

Setiap benda memiliki frekuensi dominan yang besarnya tergantung dari komposisi, ukuran dan bentuknya. Jika frekuensi dominan suatu benda sama dengan frekuensi dominan sumber bunyi lain maka akan terjadi resonansi atau penguatan amplitude gelombang, dan benda dikatakan resonan terhadap frekuensi dominan sumber bunyi (Sears dan Zemansky, 1994).

2.9 Faktor Amplifikasi (A_0)

Daya penguatan goncangan tanah (faktor amplifikasi) adalah respon lapisan batuan, dalam hal ini adalah lapisan permukaan, terhadap gelombang (gempabumi), faktor amplifikasi menggambarkan besarnya penguatan gelombang pada saat melalui medium tertentu. Penguatan gelombang pada saat melalui suatu medium berbanding lurus dengan perbandingan antara spectral horizontal terhadap spectral vertikal.

Seed struktur dan Schanabel (1972) menunjukkan bahwa kerusakan struktur bangunan akibat gempa dan intensitas goncangan tanah selama gempa secara signifikan dipengaruhi oleh kondisi geologi dan kondisi tanah setempat. Batuan sedimen yang lunak diketahui memperkuat gerakan tanah selama gempa dan arena itu rata-rata kerusakan yang diakibatkan lebih parah daripada lapisan keras (Tuladhar, 2002). Artinya batuan sedimen merupakan faktor amplifikasi

amplitude gelombang gempa. Kota modern yang dibangun di atas sedimen lunak akan mudah mengalami kerusakan akibat faktor amplifikasi gelombang gempa.

Terdapat dua sebab terjadinya faktor amplifikasi gelombang gempa yang terjebak di lapisan lunak (Nakamura, 2000; Sato *et al.*, 2004), sehingga gelombang tersebut terjadi superposisi antar gelombang, jika geombang tersebut mempunyai frekuensi dominan yang relatif sama, maka terjadi proses resonansi gelombang gempa. Akibat proses resonansi ini, gelombang tersebut saling menguatkan.

2.10 Percepatan Getaran Tanah Maksimum (a)

Percepatan adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai pada kecepatan tertentu. Percepatan getaran tanah adalah nilai percepatan getaran tanah yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gelombang gempa bumi. Nilai percepatan tanah dihitung berdasarkan magnitudo dan jarak sumber gempa yang pernah terjadi terhadap titik perhitungan, serta nilai periode dominan tanah daerah tersebut.

Percepatan getaran tanah maksimum adalah nilai percepatan getaran tanah yang terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gempabumi. Semakin besar nilai PGA yang pernah terjadi disuatu tempat, maka semakin besar bahaya dan resiko gempabumi yang mungkin terjadi. Efek primer gempabumi adalah kerusakan struktur bangunan baik yang berupa gedung, perumahan rakyat, gedung bertingkat, fasilitas umum, monument, jembatan dan infrastruktur lainnya, yang diakibatkan oleh getaran yang ditimbulkannya. Secara garis besar, tingkat kerusakan yang mungkin terjadi tergantung dari kekuatan dan

kualitas bangunan, kondisi geologi dan geotektonik lokasi bangunan, dan percepatan tanah di lokasi bangunan akibat getaran suatu gempabumi. Faktor yang merupakan sumber kerusakan dinyatakan dalam parameter percepatan tanah sehingga data PGA akibat getaran gempabumi pada suatu lokasi menjadi penting untuk menggambarkan tingkat bahaya gempabumi di suatu lokasi tertentu.

Periode dominan tanah merupakan getaran tanah yang sangat kecil dan kontinyu yang bersumber dari berbagai macam getaran seperti lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain sebagainya. Secara teoritis besarnya frekuensi dominan atau periode getaran tanah atau batuan merupakan cerminan kondisi fisik tanah atau batuan tersebut. Tanah atau batuan yang lunak dan lepas akan mempunyai periode dominan getaran yang panjang (frekuensi dominan tanah rendah, begitu juga sebaliknya). Dalam teknik kegempaan, batuan yang lebih lunak mempunyai resiko lebih tinggi bila diguncang gelombang gempabumi, karena mengalami faktor amplifikasi yang lebih besar dibandingkan dengan batuan yang lebih kompak (Pusat Survey Geologi, 2007)

Percepatan tanah permukaan di suatu tempat yang disebabkan oleh getaran seismik bergantung pada perambatan gelombang seismik dan karakteristik lapisan tanah (*alluvial deposit*) di tempat tersebut (Kanai, 1966). Sifat-sifat lapisan tanah ditentukan oleh periode dominan tanah (T) (*predominant period*) dari lapisan tanah tersebut bila ada getaran seismik.

Periode getaran seismik dan periode dominan tanah akan mempengaruhi besarnya percepatan batuan pada lapisan batuan dasar (*base rock*) dan pada permukaan (*ground surface*). Sedangkan perbedaan respon seismik pada *base*

rock dengan respon seismik pada *ground surface* akan menentukan faktor perbesaran $G(T)$. Berdasarkan hal – hal tersebut di atas, Kanai memformulasikan sebuah rumus empiris percepatan tanah pada permukaan yang dirumuskan sebagai berikut :

$$a_0 = G(T) a_0 \quad (2.36)$$

Dimana :

$$a = \frac{a_1}{\sqrt{T_G}} 10^{a_2 M} - P \log_{10}^{R+Q} \quad (2.37)$$

$$P = a_3 + a_4/R \quad (2.38)$$

$$Q = a_5 + a_6/R \quad (2.39)$$

$$G(T) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 + \left(\frac{0.2 T}{\sqrt{T_0} T_0}\right)^2}} \quad (2.40)$$

Bila terjadi resonansi ($T=T_0$) maka $G(T)$ akan mencapai maksimum.

Gelombang yang melalui lapisan sedimen akan menimbulkan resonansi yang disebabkan karena gelombang gempabumi mempunyai spectrum yang lebar sehingga hanya gelombang gempabumi mempunyai spectrum yang lebar sehingga hanya gempabumi yang sama dengan periode dominan tanah dari lapisan sedimen yang akan diperkuat. Dengan besarnya harga perbesaran $G(T)$ maka percepatan getaran tanah maksimum (a) pada permukaan dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

$$a = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{0.61 M - \left(1.66 + \frac{3.6}{R}\right) \log R + 0.167} \quad (2.41)$$

Keterangan :

$$a_1 = 5, a_2 = 0.61, a_3 = 1.66, a_4 = 3.60, a_5 = 0.167 \text{ dan } a_6 = -1.83$$

$G(T)$ = faktor pembesaran

a = percepatan tanah titik pengukuran (gal)

T = periode gelombang gempabumi (det)

T_0 = periode dominan tanah titik pengukuran (det)

M = magnitude gempabumi (Skala Ricther)

R = jarak hiposenter (km)

Pengukuran percepatan tanah maksimum bisa dilakukan langsung dengan *strong ground motion seismograph* atau *accelerograph* yang dipasang pada tempat yang ingin dicari nilai percepatan tanah maksimumnya. Karena keterbatasan jumlah *accelerograph*, perhitungan percepatan tanah maksimumnya. Karena keterbatasan jumlah *accelerograph* perhitungan percepatan tanah juga bisa dilakukan dengan perhitungan secara empiris. Ada beberapa metode perhitungan nilai percepatan getaran tanah maksimum, diantaranya metode Gutenberg – Richter Murphy – O’Brien dan Mc. Guirre. Ketiga metode tersebut hanya berdasarkan data – data dari parameter gempabumi.

Pada kajian ini digunakan metode Kanai yang memperhitungkan karakteristik lapisan tanah (*alluvial deposit*), yang ikut berpengaruh terhadap percepatan tanah maksimum suatu tempat. Formula Kannai dirumuskan pada persamaan (2.41)

Percepatan tanah maksimum merupakan dampak gelombang gempabumi di lokasi pengukuran, sehingga bisa menjadi ukuran intensitas gempabumi yang dialami. Peta percepatan tanah maksimum diklasifikasikan menjadi 10 macam

tingkat resiko berdasarkan percepatan tanah maksimum dan intensitas seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Tingkat resiko gempabumi berdasarkan nilai percepatan tanah maksimum

No	Tingkat Resiko	Percepatan (gal)	Intensitas (MMI)
1	Resiko sangat kecil	<25	<VI
2	Resiko kecil	25-50	VI-VII
3	Resiko sedang satu	50-75	VII-VIII
4	Resiko sedang dua	75-100	VII-VIII
5	Resiko sedang tiga	100-125	VII-VIII
6	Resiko besar satu	125-150	VIII-IX
7	Resiko besar dua	150-200	VIII-IX
8	Resiko besar tiga	200-300	VIII-IX
9	Resiko sangat besar satu	300-600	IX-X
10	Resiko sangat besar dua	>600	>X

Sumber : Fauji dkk, 2005 dalam Edwiza, 2008

BAB III

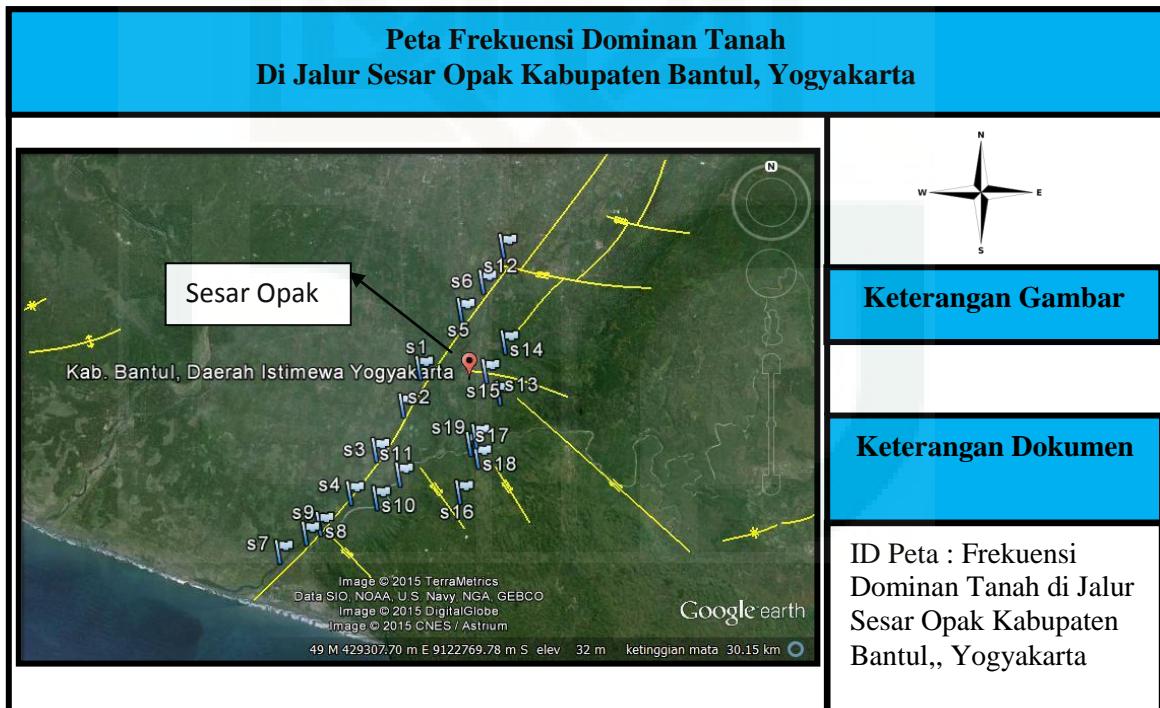
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu Penelitian

Pengambilan data primer dilakukan pada bulan Agustus 2015. Hari dan waktu ini sudah di tentukan jauh hari pada bulan April sampai Mei melakukan diskusi dengan pihak pembimbing dan asisten. Penelitian ini dilakukan di wilayah sekitar Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul, Yogyakarta.

3.1.2 Tempat Penelitian



Gambar 3.1 Letak Penelitian di Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta

Penelitian dilakukan di Jalur Sesar Opak tepatnya di sepanjang Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta pada gambar 3.1. Sedangkan data penelitian sekunder menggunakan data gempabumi pada tahun 2006 dengan Magnitude terbesar pada tahun 2006 dan kedalaman yang terjadi pada 27 Mei 2006 disebabkan karena titik letak kedalaman atau wilayah yang berbeda-beda dan memiliki episenter koordinat yang berbeda, terdapat 5 titik pusat gempabumi yang berada di sekitar wilayah Yogyakarta dan sekitarnya data di peroleh dari download data BMKG. Penelitian data primer berupa pengukuran mikrotremor secara langsung sebanyak 34 titik data tanah (*ground*). Pengambilan sampel titik lokasi diambil di sekitar jalur sesar sampai dengan jarak interval 1 km dari Jalur Sesar. Karena penyebab gempa Yogyakarta 2006 disebabkan oleh sesar opak yang berjarak 5-10 km dari jalur sesar (Daryono, 2009). Maka dari itu penelitian di lakukan menggunakan jarak interval 1 km dari Sesar Opak.

Penentuan titik sampel data mikroseismik juga dipertimbangkan beberapa persyaratan yang mengacu kepada standar aturan SESAME *European Research Project*. Salah satu aturan yang ditetapkan oleh SESAME yaitu pemilihan sampel yaitu pemilihan sampel diusahakan untuk memilih tempat yang tidak terlalu ramai penduduk karena sangat mempengaruhi hasil analisis.

Dalam proses akuisisi data menggunakan TDS 303S. Pada proses pengambilan data dilakukan selama ± 30 menit. Adapun beberapa cara mengoperasikan alat di lapangan untuk mendapatkan data mentah mikrotremor. Berikut cara mengoperasikan alat dalam merekam sinyal seismik di lapangan :

1. Letakkan seismometer diatas tanah yang mengandung batuan yang keras dan datar, jika keadaan tanah kurang rata atau gembur bisa diberi landasan yang kita buat dari coran semen. Dan diusahakan penempatan sensor jauh dari aktivitas manusia.
2. Atur posisi supaya menghadap ke utara geografis, dengan melihat *handle* yang telah diberi tanda *N(North)*, dengan memakai kompas sebagai acuannya.
3. Ketiga kaki seismometer bisa diberi tatakan yang telah tersedia, kemudian atur kaki-kaki tersebut dengan memutar kekiri atau kekanan menyesuaikan dengan posisi gelembung air supaya tepat ditengah-tengah (leveling) jika sudah, berarti posisi alat rata dengan tanah.
4. Hubungan masing-masing kabel konektor dengan instrument seismograf (Seismometer, GPS, Digitalizer, Laptop, Power) sesuai dengan fungsinya masing-masing.
5. Letakan GPS di tempat yang terbuka tidak terhalang dengan sesuatu supaya langsung terhubung dengan satelit.
6. Hidupkan digitalizer dengan menekan tombol *ON*, perhatikan power diusahakan keluaran tegangan stabil 12 Volt.
7. Tunggu beberapa menit perhatikan lampu *indicator* GPS ketika berwarna kuning di laptop maka pertanda GPS sudah berfungsi dengan baik, namun apabila masih merah maka periksa kabel konektor dan keadaan lingkungan barangkali ada yang menghalangi dari jangkauan satelit.

8. Lihat tanda waktu di digitalizer apabila masih tampil huruf "U" berarti alat belum beroprasi dengan baik, ketika tampil huruf "A" yang menandai alat sudah beroprasi dengan baik catat jam mulai oprasi dan catat juga waktunya ketika akan dimatikan.

3.2 Persiapan Alat dan Bahan

Adapun penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah perangkat keras dan perangkat lunak.

1. Perangkat Lunak

Perangkat ini adalah perangkat yang berhubungan dengan pemograman komputer yaitu dengan bahasa pemograman yang digunakan untuk menjalankan perangkat keras. Perangkat lunak yang dipergunakan adalah

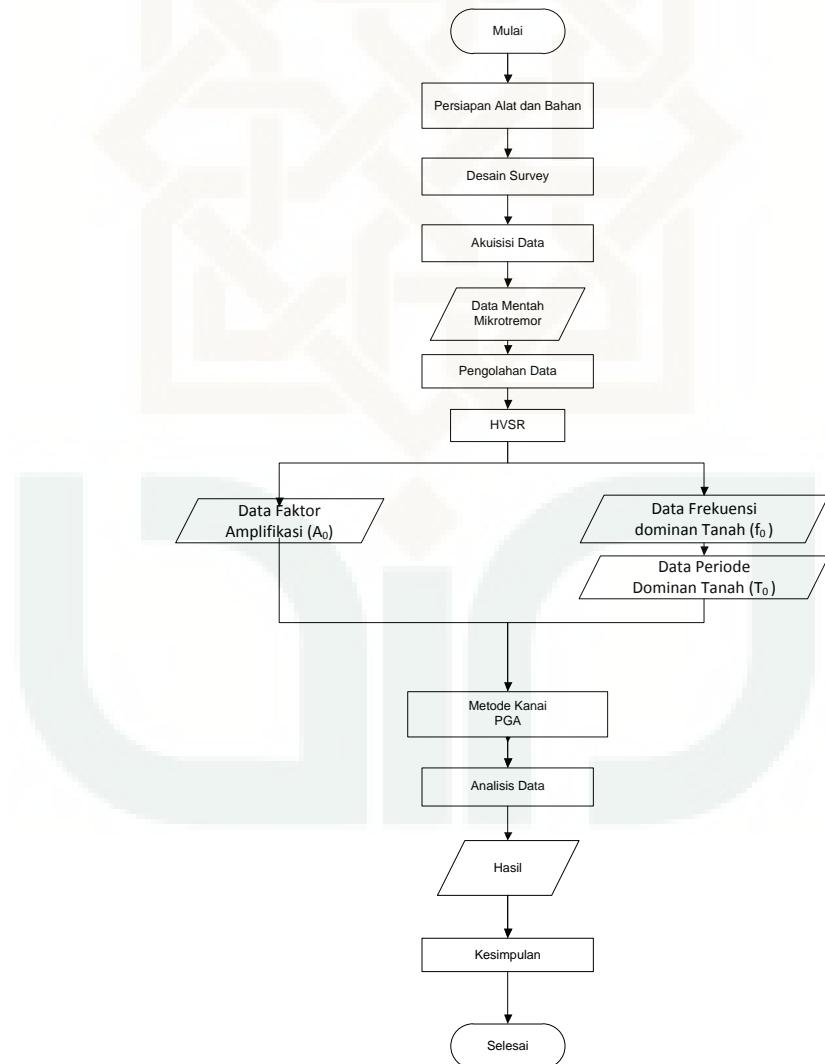
- a. SASSARY-Geopsy digunakan untuk memilih sinyal atau proses *windowing*.
- b. DATAPRO (paket program dari seismograf TDS 303), untuk akuisisi data mikrotremor.
- c. Surfer 10 (32 bit) digunakan untuk pembuatan peta kontur f_0 , A_0 dan PGA.
- d. Global Mapper digunakan untuk pemotongan peta geologi Yogyakarta.
- e. Google Earth digunakan untuk memplot lokasi penelitian.
- f. Microsoft Excel digunakan untuk perhitungan data penelitian.
- g. Microsoft Visio 2010 digunakan untuk membuat *flow chart*.

2. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S, Seismometer tipe TDV-23S, *Global positioning System (GPS)* , Kompas, Laptop, Meteran, dan lembar *check list* 40 lembar.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.3.2 Deskripsi Data

Dalam tahapan ini di lakukan penggerjaan penelitian sesuai dengan diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 meliputi :

a. Persiapan Alat dan bahan

Pada tahapan ini di lakukan persiapan alat dan bahan, persiapan alat dan bahan yang akan di gunakan untuk pengambilan data penelitian di lapangan.

b. Desain Survey

Pada tahapan desain survey ini dilakukan pembuatan atau penggambarkan titik atau wilayah yang akan digunakan untuk penelitian. Sesuai dengan letak dan kondisi wilayah yang akan diteliti, pembuatan desain survey ini menggunakan google earth penentuan titik sudah di sepakati rentang kanan dan kiri 1 km dari jalur sesar opak. Pengambilan rentang ini dikarenakan sebagai batasan wilayah yang mendekati dengan jalur sesar opak serta yang sering kali munculnya guncangan hebat pada wilayah ini.

c. Akuisisi Data

Pada tahapan akuisisi data ini dilakukan dalam proses akuisisi data menggunakan seismograf TDS 303S. Pada proses pengambilan data dilakukan selama ± 30 menit disetiap titiknya namun ada yang dilakukan selama $\pm 15-\pm 20$ karena faktor wilayah yang tidak memungkinkan. Karena di sebabkan lalu lalang kendaraan. Pengambilan data ini memacu pada *SESAME*.

d. Data Mentah Mikrotremor

Pada data mikrotremor ini diperoleh data mentah dari akuisisi data lapangan, yang di ambil dilapangan sejumlah 34 titik. Masing – masing data mentah dilakukan pemilihan tempat atau titik pengambilan yang sesuai dengan kriteria batasan penelitian.

e. Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data dilakukan pengolahan menggunakan software Geopsy. Pada software geopsy yang dilakukan dalam pengolahan menggunakan patokan atau pedoman *SESAME*. Pengolahan ini menggunakan teknik pengolahan HVSR yang nantinya hasil dari pengolahan ini di peroleh hasil sinyal-sinyal spectrum yang dapat diketahui nilai periode dominan dan amplifikasi dominannya.

f. Faktor Amplifikasi (A_0)

Pada penentuan faktor amplifikasi natural dilakukan dengan cara mengolah data hasil rekaman pada stasiun titik pengambilan data lapangan di jalur sesar opak, menggunakan *software geopsy* dengan menggunakan teknik pengolahan HVSR. Hasil olahan teknik HVSR memiliki hasil berupa faktor amplifikasi (A_0).

g. Frekuensi Dominan Tanah (f_0)

Pada penentuan frekuensi dominan tanah dilakukan serupa. Menggunakan teknik pengolahan HVSR dan hasil keluaran dari pengolahan tersebut adalah frekuensi dominan tanah (f_0).

h. Periode Dominan Tanah (T_0)

Pada penentuan periode dominan ini digunakan perhitungan. Perhitungan menggunakan $1/\text{frekuensi dominan tanah}$. Frekuensi dominan tanah (T_0) didapatkan dari hasil perhitungan sebelumnya.

i. Penentuan dengan Metode Kanai PGA

Pada penentuan Nilai PGA menggunakan metode kanai ini dimulai dari hasil data yang sudah di dapatkan meliputi masing – masing titik sebanyak 40 titik hasil pengambilan data penelitian diperoleh nilai A_0 , F_0 , dan T_0 . Nilai tersebut di substitusikan kedalam rumus kanai dan menggunakan data empiris nilai magnitude gempa 2006. Yang nilai magnitudenya di Yogyakarta dan sekitarnya yang memiliki nilai magnitude terbesar tahun 2006 dan kedalamannya dangkal.

j. Analisis Data

Pada tahapan ini dianalisis data menggunakan hasil dari nilai PGA metode Kanai di analisis dengan tahapan tinjauan klarifikasi nilai tingkat resiko dengan menggunakan hasil nilai percepatan tanah yang sudah di hitung. Hasil nilai percepatan tanah yang yang sudah dihitung dapat di lihat letak rancenya pada tabel 3.1 .

Tabel 3.1 Tingkat Resiko Gempa (Fauzi et al, 2005)

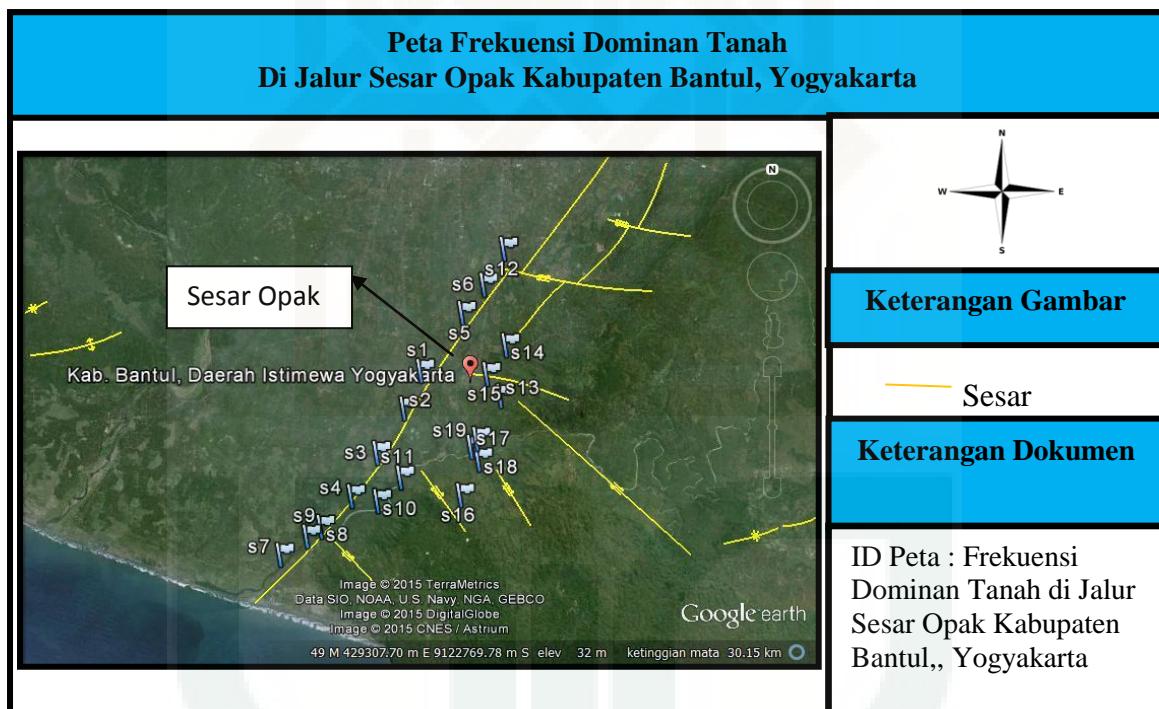
No	Tingkat Resiko	Nilai Resiko (Gal)	Intensitas (MMI)
1	Resiko Sangat Kecil	<25	<VI
2	Resiko Kecil	25-50	VI-VII
3	Resiko Sedang Satu	50-75	VII-VIII
4	Resiko Sedang Dua	75-100	VII-VIII
5	Resiko Sedang Tiga	100-125	VII-VIII
6	Resiko Besar Satu	125-150	VIII-IX
7	Resiko Besar Dua	150-200	VIII-IX
8	Resiko Besar Tiga	200-300	VIII-IX
9	Resiko Sangat Besar satu	300-600	IX-X
10	Resiko Sangat Besar Dua	>600	>X

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lokasi Titik Penelitian

Berdasarkan data penelitian mikroseismik di wilayah Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul, Yogyakarta diperoleh data sebanyak 34 titik. Letak pengambilan data dapat dilihat pada gambar 4.1.

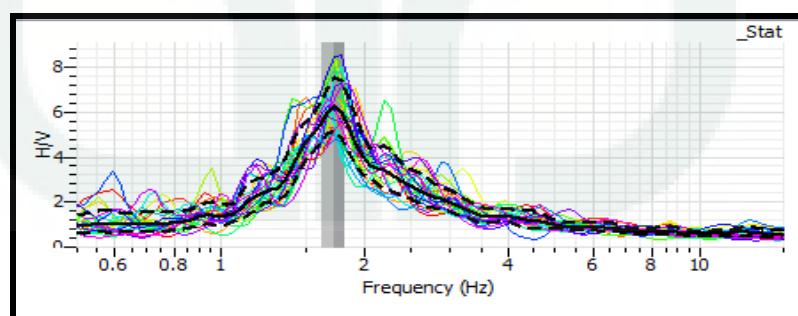


Lokasi pengambilan data penelitian pada gambar diatas memiliki kondisi tanah dan lokasi berbeda – beda. Beberapa titik pengambilan data lapangan terletak pada pinggiran jalan, beberapa titik kemudian berada pada area pemukiman, beberapa titik berada pada pinggiran persawahan dan ladang luas milik warga sekitar Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta. Kondisi tanah pada masng-masing titik penelitian nampak memiliki perbedaan yang

terlihat dipermukaannya yang meliputi tanah pasir, tanah lunak, tanah keras dan pinggiran aspal atau konblok yang terbuat dari semen. Titik penelitian diposisikan memotong jalur sesar yaitu lebih kurang berjarak 1 km dari garis jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul, Yogyakarta. Dengan jarak antara titik yang berbeda-beda mulai dari 100 meter hingga 5 km menyesuaikan ketersediaan lokasi yang memungkinkan untuk dilakukannya pengukuran.

4.2 Pengolahan Data Mentah

Data penelitian lapangan ini dalam dominan waktu di potong pada waktu yang bersamaan atau waktu yang sama kemudian di band pass filter 1 - 45 Hz. Selanjutnya dalam pengolahan H/V lebar window yang dilakukan adalah 25 detik. Proses penghalusan data dilakukan dengan metode konno & Ohmachi dengan konstanta smoothing 40. Dari pengolahan data tersebut dihasilkan data identik (Gambar 4.2) Data yang dihasilkan berupa data amplifikasi natural (A_0) dan frekuensi dominan (F_0). Data ini berupa grafik spektrum dan nilai yang dihasilkan melalui identifikasi atau pembacaan grafik.

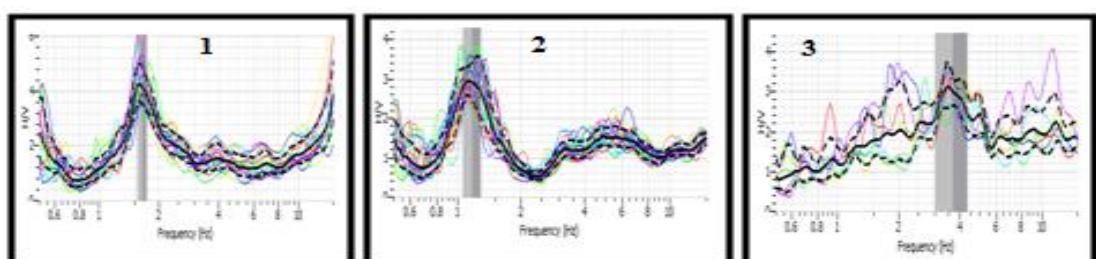


Gambar 4.2 Respon Seismograf TDS 303

Dari seluruh pengambilan data penelitian lapangan data yang dapat diolah sebanyak 34 titik. Terdapat beberapa data yang tidak dipakai dikarenakan kondisi data yang hampir selama rekaman mempunyai banyak gangguan atau noise. Data

yang tidak dapat diolah dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Contohnya adanya orang berjalan atau sepeda motor yang sedang lewat, karena letak penelitian sebagian ada yang di pinggir jalan.

Untuk menentukan nilai F_0 dan A_0 dipilih pada kurva H/V. Frekuensi pada puncak amplitudo kurva H/V merupakan frekuensi dominan atau frekuensi resonansi di suatu titik ukur. Peristiwa resonansi mengakibatkan amplitudo spectrum horizontal pada suatu frekuensi tertentu (frekuensi resonansi) menjadi lebih besar sedangkan komponen vertikal tetap. Sehingga akan terbentuk puncakan pada kurva H/V. Kurva yang ideal adalah kurva tipe *clear peak*. Tetapi ada suatu kasus saat terdapat beberapa puncakan (*multiple peak*) atau malah tidak terdapat puncakan (*no peak*) (Gambar 4.3). Saat terdapat kasus beberapa puncak amplitudo akan menimbulkan kesusahan menentukan nilai F_0 dan A_0 . Apabila terjadi kasus tersebut perlu di perhatikan data – data pada titik sekitarnya. Melihat data – data di titik sekitarnya dapat membantu dalam menentukan puncakan mana yang akan digunakan. Puncakan yang dipilih adalah puncakan yang frekuensinya paling dekat dengan titik sekitarnya sedangkan kasus tidak ada puncakan pada kurva H/V atau kurva cenderung datar maka data pada titik tersebut tidak dapat digunakan. Hal tersebut bisa terjadi apabila dilakukan pengukuran didaerah yang didominasi batuan keras.



Gambar 4.3 Contoh kurva Peak nomer 1, Multiple Peak nomer 2 dan No Peak nomer 3

Pada hasil pengolahan sudah di lakukan pada gambar 4.3 kemudian dihasilkan data berupa hasil tabel dan peta seluruh data pada penelitian. Adapun Parameter – parameter gempa yang dimasukan pada tabel 4.1 seperti longitude, latitude, titik ID penelitian, Hiposenter, magnitudo gempa, data tersebut di olah dan dapat ditampilkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Data Pengolahan Nilai frekuensi natural, amplifikasi natural, ground shear strain, dan percepatan tanah maksimum di Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta.

No	Koordinat UTM		Titik Pengamatan	Frekuensi Tanah (Hz)	A0	PGA (Gal)	Tingkat Resiko Kerusakan
	X	Y					
1	432283.4	9127823	B1	1.56	3.410	140.179	Resiko Besar Satu
2	432517.5	9127070	B2	2.69	4.939	184.292	Resiko Besar Dua
3	432463.2	9127368	B3	7.55	4.584	308.523	Resiko Sangat Besar Satu
4	430958.8	9127256	B4	3.74	1.909	217.014	Resiko Besar Tiga
5	430868.3	9124804	B5	3.04	1.450	195.951	Resiko Besar Dua
6	429516.6	9123854	B6	3.13	2.786	198.659	Resiko Besar Dua
7	428691.2	9124684	B7	1.89	3.544	154.481	Resiko Besar Dua
8	428797.4	9122357	B8	2.70	1.909	184.372	Resiko Besar Dua
9	429996.3	9126427	B9	4.05	3.308	226.035	Resiko Besar Tiga
10	427631.7	9120327	C1	4.33	2.883	233.780	Resiko Besar Tiga
11	431233.9	9124929	C10	4.56	2.883	239.978	Resiko Besar Tiga
12	428469.9	9119907	D2	3.39	1.308	206.922	Resiko Besar Tiga
13	422105.8	9114156	D5	2.95	1.140	192.463	Resiko Besar Dua
14	424091.8	9117629	D6	6.09	1.401	276.965	Resiko Besar Tiga
15	421286.4	9116335	D7	4.26	1.608	231.331	Resiko Besar Tiga
16	422678.5	9118972	D8	3.00	1.845	194.371	Resiko Besar Dua
17	422587.8	9117408	D9	4.58	0.681	240.048	Resiko Besar Tiga
18	426360.7	9121611	Titik 01	3.12	2.786	198.125	Resiko Besar Dua
19	427478.8	9121839	Titik 04	2.67	1.845	183.420	Resiko Besar Dua
20	428459	9123649	Titik 11	3.27	3.196	203.075	Resiko Besar Tiga
21	429344.1	9124492	Titik 13	2.87	2.786	190.110	Resiko Besar Dua

22	429399.6	9125591	Titik 19	3.73	3.544	216.849	Resiko Besar Tiga
23	430377.1	9121553	Titik 23	4.40	1.845	235.638	Resiko Besar Tiga
24	430492.2	9122730	Titik 24	4.77	2.389	245.363	Resiko Besar Tiga
25	431012.1	9123697	Titik 25	3.26	2.786	202.840	Resiko Besar Tiga
26	425511.1	9117146	Ta 1	1.59	3.308	141.614	Resiko Besar Satu
27	425773.6	9116566	Ta 2	3.54	4.827	211.314	Resiko Besar Tiga
28	427668.7	9118207	Ta 4	3.27	3.928	203.089	Resiko Besar Tiga
29	428647.5	9119242	Ta 5	6.27	1.722	281.347	Resiko Besar Tiga
30	425381.3	9119414	Ta 6	2.98	1.264	193.852	Resiko Besar Dua
31	426574.3	9118511	Ta 7	5.25	1.401	257.370	Resiko Besar Tiga
32	423092.9	9114639	Ta 11	2.36	1.029	172.163	Resiko Besar Dua
33	423400	9115690	T1	5.24	1.401	256.707	Resiko Besar Tiga
34	424585	9116547	T7	4.35	1.976	234.191	Resiko Besar Tiga

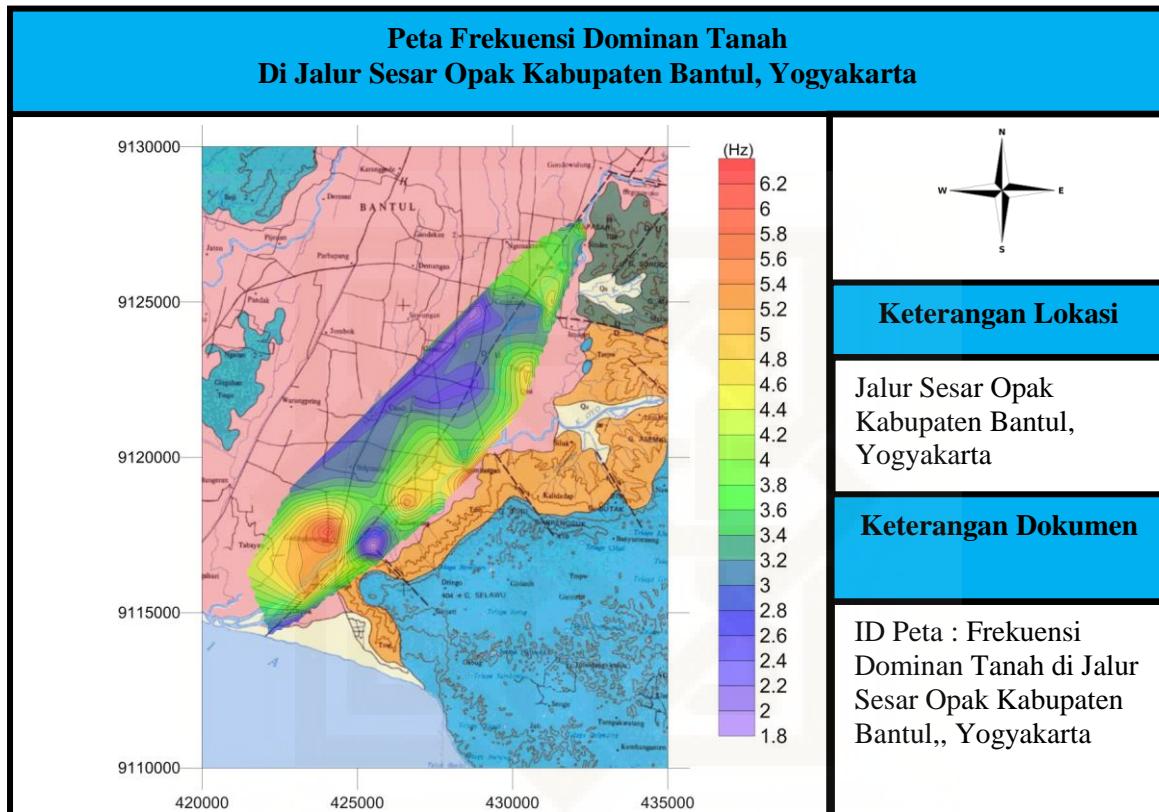
Pada tabel yang sudah disajikan akan mempermudah membaca dan mengetahui secara langsung nilai dan tingkat resiko pada daerah penelitian yang berada di sekitar jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta.

4.3 Frekuensi Dominan Tanah (f_0)

Frekuensi dominan tanah daerah penelitian cukup beragam, dari nilai kecil, sedang sampai dengan frekuensi tinggi. Dari nilai frekuensi dominan tanah setiap titik pengukuran, dapat dibuat peta sebaran frekuensi dominan permukaan tanah daerah penelitian.

Dari 34 titik yang diolah didapatkan nilai frekuensi dominan yang bervariasi. Rentang frekuensi dominan yang terukur pada saat penelitian adalah 1,56 Hz – 7,55 Hz. Nilai frekuensi yang paling banyak muncul adalah nilai frekuensi > 3 Hz. Sedangkan frekuensi yang 3-6.2 Hz jarang keluar. Nilai

frekuensi dominan relative kecil berada pada bagian barat dan sedikit daerah keselatan.



Gambar 4.4 Peta Frekuensi Dominan Tanah

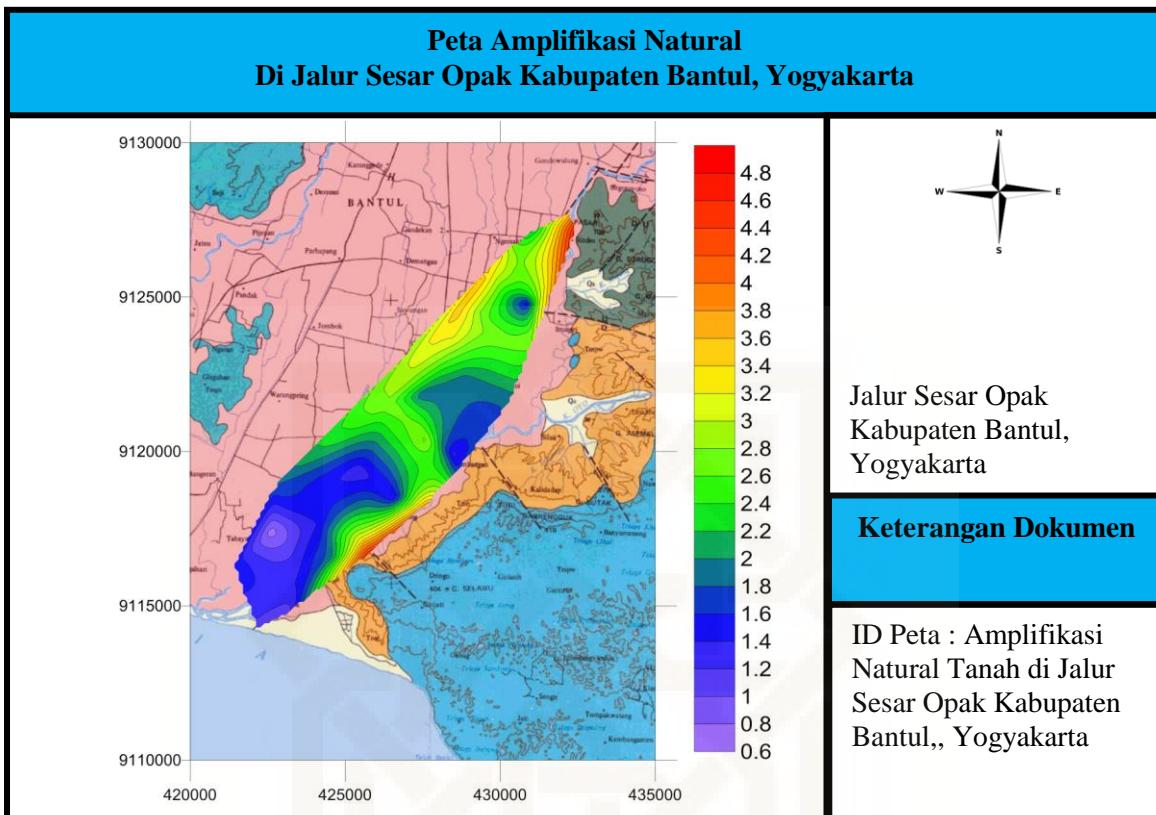
Pada Gambar 4.4 disajikan peta f_0 di korelasikan dengan peta geologi, dapat diperoleh hasil dimana kolerasi dengan peta geologinya, daerah tersebut merupakan daerah alluvial. Berdasarkan peta geologi yang di overlay dengan penelitian, maka letak wilayah bagian penelitian ini letak warna yang memiliki arti bahwa wilayah ini memiliki endapan vulkanik muda dengan batuan andesit. Batuan ini memiliki densitas yang kecil. Terlihat adanya pola yang sama antara nilai F_0 dengan peta geologi tersebut. Sesuai dengan penelitian (Fransisco *et al*, 2014) yang menyatakan frekuensi dominan hasil dari pengolahan HVSR lebih memperlihatkan struktur sedimen dengan variasi lateral yang seragam.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Nogoshi dan Igarashi (1970) dalam Adib *et al.* (2015) dan Panah *et al.* (2002) Panah *et al.* (2002) bahwa nilai frekuensi dominan tanah berkaitan dengan jenis batuan. Secara teoritis nilai frekuensi berkaitan dengan ketebalan lapisan sedimen. Semakin lunak dan semakin tebal lapisan sedimen akan menghasilkan nilai frekuensi dominan yang kecil, begitu juga sebaliknya. Pada lokasi penelitian ini terdapat sesar opak yang mengontrol alterasi. Adanya sesar membuat batuan memiliki nilai permeabilitas yang tinggi sehingga fluida panas dapat melewati sesar tersebut yang mengakibatkan terjadinya alterasi. Pada daerah pertemuan sesar terdapat alterasi silisifikasi yang bersifat paling asam dan paling terpengaruh fluida hidrotermal karena terletak paling dekat dengan sesar.

Dalam keperluan mitigasi bencana gempabumi, informasi nilai frekuensi dominan suatu tempat menjadi sangat penting dalam perancangan bangunan tahan gempabumi. Bangunan yang memiliki nilai frekuensi sama dengan frekuensi dominan tanah akan mengalami persebaran amplitude karena interferensi dua gelombang yang sifatnya saling menguatkan atau biasa disebut dengan resonansi.

4.4 Amplifikasi (A_0)

Dari pengolahan data HVSR nilai A_0 diperoleh bersamaan dengan nilai F_0 . Kedua parameter tersebut diambil pada puncakan yang sama dari kurva H/V. Rentang nilai amplifikasi berkisar antara 0,681 – 4,939. Nilai tersebut bervariasi dengan jumlah data 34 (Gambar 4.5). Sebaran data amplifikasi ini terlihat merata, data ini dapat dilihat pada gambar 4.5, pada gambar 4.5 dapat di analisa.



Gambar 4.5 Amplifikasi (A_0) di sekitar sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta

Persebaran nilai amplifikasi pada gambar 4.4 terlihat bahwa sebaran lokasi dari nilai amplifikasi berbeda dibandingkan dengan sebaran frekuensi dominan. Pada peta persebaran amplifikasi terlihat bahwa letak paling rendah nilai amplifikasinya berbeda dengan letak nilai frekuensinya.

Apabila melihat dari nilai amplifikasi di Gambar 4.5, terlihat bahwa adanya nilai amplifikasi dominan pada sebelah selatan area penelitian, tepatnya pada ujung peneltian, dan ada bagian kecil pada wilayah yang sebelah utara. Menunjukkan bahwa tidak menyebarluasnya letak nilai amplifikasi pada penelitian ini. Namun pada asalnya letaknya sudah dominan di bagian selatan. Nilai amplifikasi secara teoritis berbanding lurus dengan kontras impedansi antara

batuan dasar dengan batuan sedimen. Walaupun dari peta persebaran amplifikasi diatas sudah jelas bawasannya nilai amplifikasi besar cenderung di bagian utara dan sebagian di bagian selatan. Dapat dikatakan bahwa nilai amplifikasi ini tidak merata karena sebagian besar nilai kecil berada di wilayah selatan dan nilai besar juga berada di wilayah selatan. Faktor ini juga bisa di lihat dari faktor geologinya untuk daerah sesar opak kabupaten bantul Yogyakarta.

Peristiwa amplifikasi menyebabkan amplitudo suatu gelombang seismik meningkat. Akibatnya efek merusak yang dihasilkan juga akan lebih besar. Sehingga dilihat dari nilai amplifikasi daerah paling aman di lokasi penelitian adalah daerah yang berwarna biru. Warna biru mewakili nilai amplifikasi dari 0,68 – 1,6. Nilai amplifikasi ini terbilang rendah, ketika ada gempa yang begitu besar masih di bilang aman daripada lokasi penelitian yang lain. Daerah yang berwarna hijau – merah merupakan daerah yang rawan dari aktivitas seismik. Karena dilihat dari nilai amplifikasinya yang bernilai 2,6 -4,6.

4.5 Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dengan tingkat resiko

Berdasarkan analisis peta terjadi gempabumi wilayah Yogyakarta, Gempabumi didaerah ini terjadi di Samudera Indonesia yaitu daerah subduksi dari lempeng Australia sehingga di daerah Yogyakarta sendiri sering terjadi gempabumi dengan *magnitude* yang kecil maupun besar. Pada daerah penelitian ini walaupun sering terjadi gempabumi namun nilai percepatan getaran tanah maksimum berbeda-beda. Meskipun di wilayah Yogyakarta banyak terjadi gempa bumi dengan *magnitude* yang besar namun nilai percepatan tanah maksimum di Wilayah Yogyakarta tergolong dalam tingkat resiko yang kecil sampai dengan

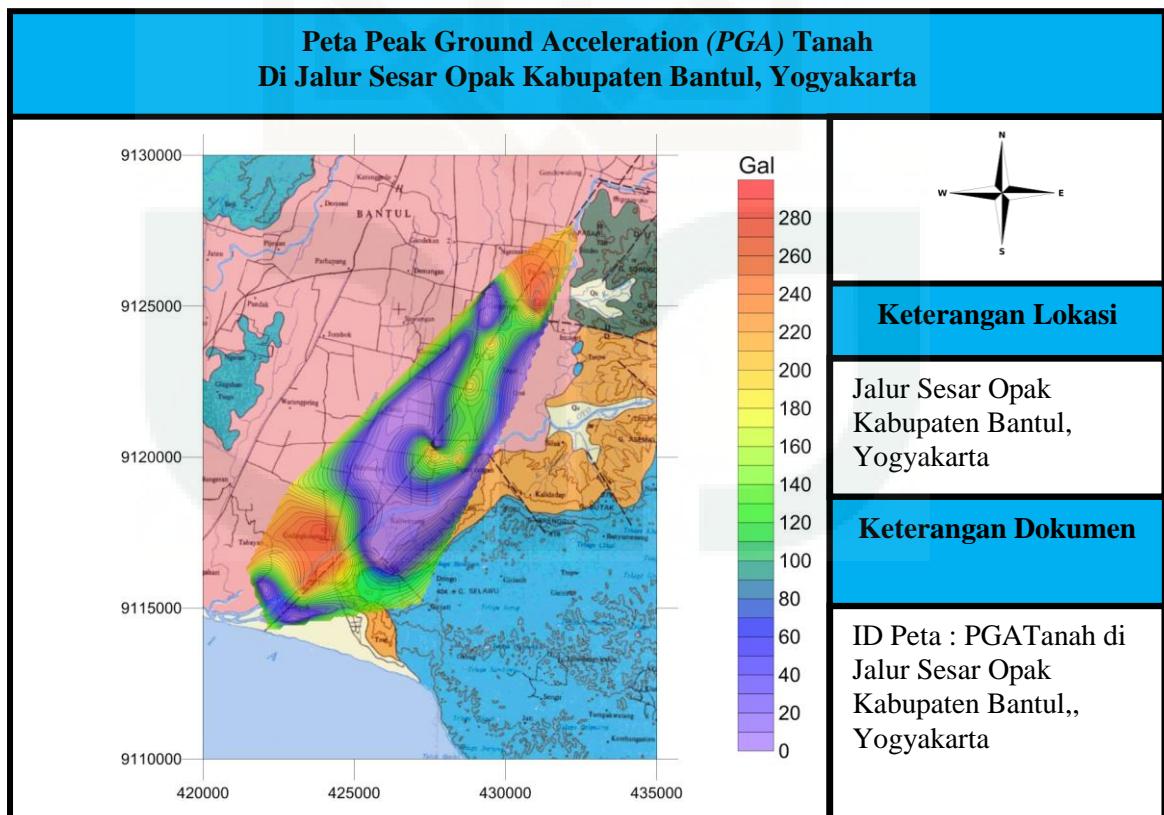
tinggi ada di wilayah ini, hal ini disebabkan karena sebagian besar gempa-gempa dengan kekuatan besar banyak terjadi di dalam laut yaitu di Samudera Indonesia. Namun ada juga yang memiliki tingkat resiko tinggi yang pada saat terjadi gempabumi terjadi di daratan mengalami tingkat resiko kerusakan tinggi.

Percepatan tanah maksimum merupakan nilai percepatan tanah terbesar yang terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gelombang gempabumi dalam periode waktu tertentu.. Berdasarkan hasil pengolahan data dan perhitungan nilai percepatan getaran tanah maksimum di wilayah jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta menggunakan metode Kannai diperoleh dan dihasilkan nilai PGA beserta peta konturnya. Titik sampel pengukuran nilai percepatan tanah maksimum dapat dilihat pada tabel 4.1. Berdasarkan data nilai percepatan tanah maksimum pada sampel data kemudian di petakan menggunakan surfer untuk melihat persebarannya.

Menurut Edwiza (2008), tingkat resiko gempa dengan nilai PGA 140,179 gal termasuk nilai terkecil dalam penelitian ini dan memasuki pada tingkat resiko besar satu dengan intensitas (MMI) pada VIII. Pada penelitian ini juga mendapatkan nilai terbesar dengan nilai 308,523 gal termasuk tingkat resiko sangat besar satu akan setara dengan nilai *Modified Mercally Intensity* (MMI) pada skala IX. Skala MMI merupakan ukuran kualitatif gempa atau skala gempa berdasarkan tingkat kerusakan yang ditimbulkannya. Skala VIII MMI diperlihatkan dengan orang sulit berdiri, guncangan terasa oleh supir mobil, perkakas rumah tangga rusak, tembok rusak, cerobong asap mutu rendah pecah pada bagian atasnya, genting dan hiasan aristek lepas, tembok sedikit retak, tanah

longor kecil, pasir dan kerikil runtuh pada bagian tepi, parit dan irigasi rusak. Skala IX identifikasi kejadian dapat berupa sulit mengemudikan mobil, tembok rusak dan sebagian runtuh, monument dan menara jatuh, fondasi bermutu jelek terpisah, cabang sobek dari pohonnya, rumah bergeser dari fondasinya (BMKG).

Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 4.1 menunjukkan nilai percepatan tanah dan resiko tingkat kerusakan. Titik yang memiliki PGA (*Peak Ground Acceleration*) pada titik B3 sebesar 308,523 Gal dengan tingkat kerusakan resiko sangat besar satu. Persebaran nilai terjadi pada penelitian ini, satu titik dengan titik yang lain berbeda nilai dan hasilnya. Hanya terdapat pada titik tertentu nilai percepatan getaran maksimum nya tinggi.



Gambar 4.6 Geologi dan Percepatan Getaran Maksimum di Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta

Dapat dilihat secara jelas pada peta korelasi antara geologi dengan peta percepatan getaran tanah maksimumnya pada gambar 4.6. Dengan adanya peta tersebut bawasannya letak kondisi sesuai dengan kejadian gempa 2006 yang mengalami kerusakan yang sangat parah di daerah tersebut. Berdasarkan peta persebaran percepatan getaran tanah maksimum (PGA) di sepanjang Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta sudah jelas berada pada samping kanan dan kiri letak jalur sesar opak yang mengalami nilai percepatan getaran tanah maksimumnya. Dengan itu dapat disimpulkan bahwa letak geologi jalur sesar opak dengan kondisi dan nilai percepatan getaran maksimum (PGA) tertinggi di Jalur Sesar Opak Kabupaten Bantul Yogyakarta. Nilai percepatan getaran tanah maksimum di wilayah Bantul disebabkan karena adanya pergerakan sesar-sesar tektonik di Wilayah Bantul, hal ini dikuatkan lagi bahwa daerah Bantul Yogyakarta dan sekitarnya terletak pada patahan besar (*Great Fault Java*) dan pada daerah penunjaman (*Subduksi*) lempeng Australia dan lempengan Eurasia.

BAB V

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai frekuensi dominan tanah dari 34 titik pengukuran didapatkan nilai sebesar 1,55 Hz sampai dengan 7,55 Hz. Setiap titik pengukuran memiliki nilai frekuensi dominan tanah yang berbeda hasilnya. Nilai faktor amplifikasi didapatkan nilai sebesar 0,554 sampai dengan 4,827. Nilai tersebut rentangan dari 34 titik data penelitian.
2. Nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* di peroleh dari penelitian ini dengan jumlah data 34 titik data di dapatkan nilai sebesar 140,197 Gal sampai dengan 308,523 Gal.
3. Tingkat resiko dari nilai *Peak Ground Acceleration (PGA)* dengan tingkat kerusakan maka dapat disimpulkan kondisi tingkat kerusakan meliputi resiko besar satu, resiko besar dua, resiko besar tiga dan resiko sangat besar satu. Kondisi sesuai dengan keadaan pada data penelitian dan keadaan pada saat gempa 2006.

5.2 Saran

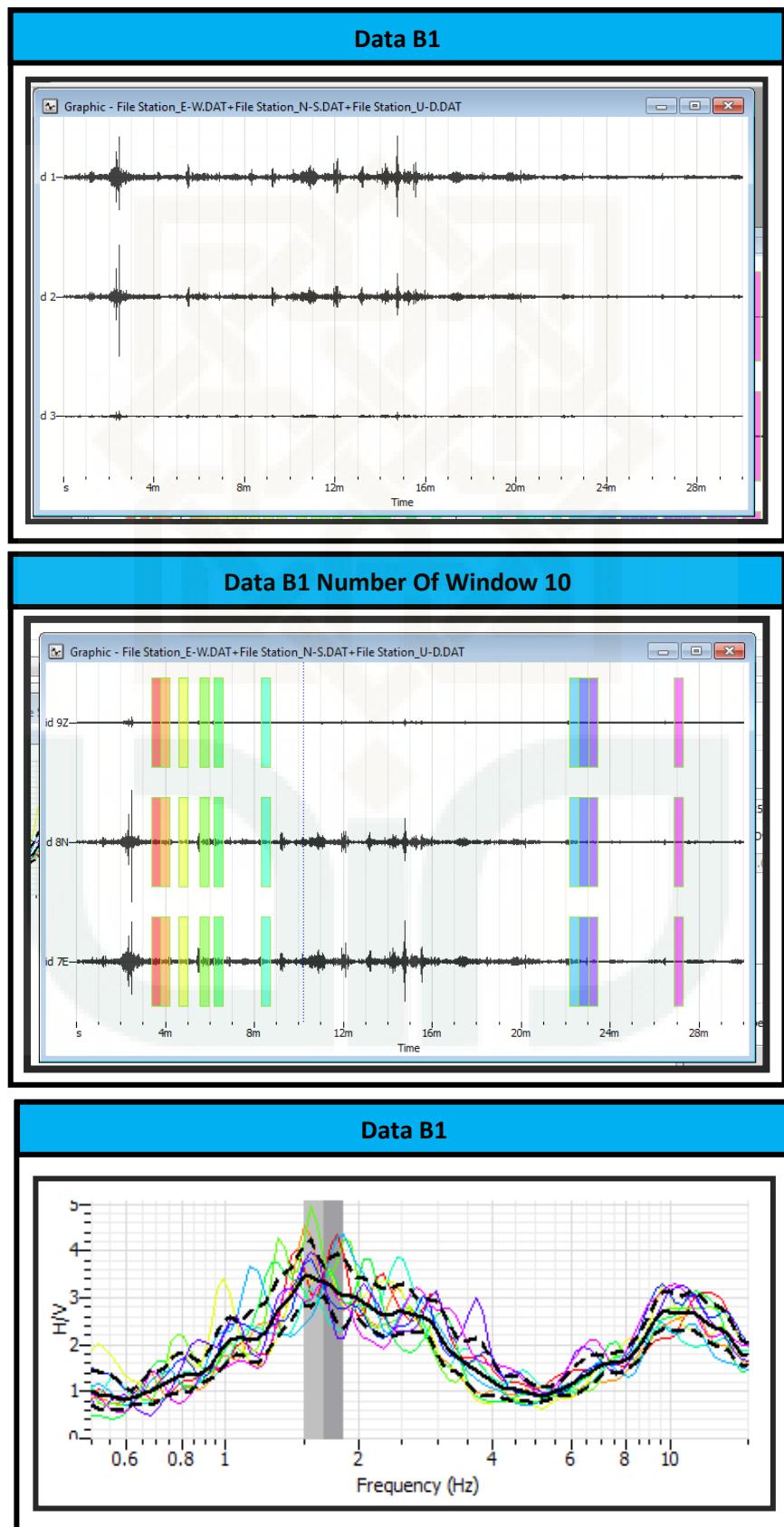
Untuk penelitian selanjutnya disarankan menambahkan titik pengukuran mulai dari sesar kecil maupun sesar besar sampai atau seluruh sesar yang berada di wilayah Kabupaten Bantul Yogyakarta.

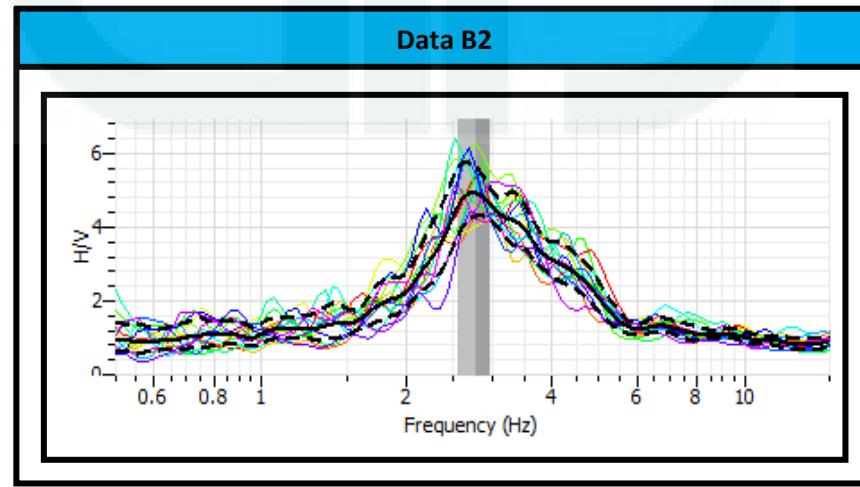
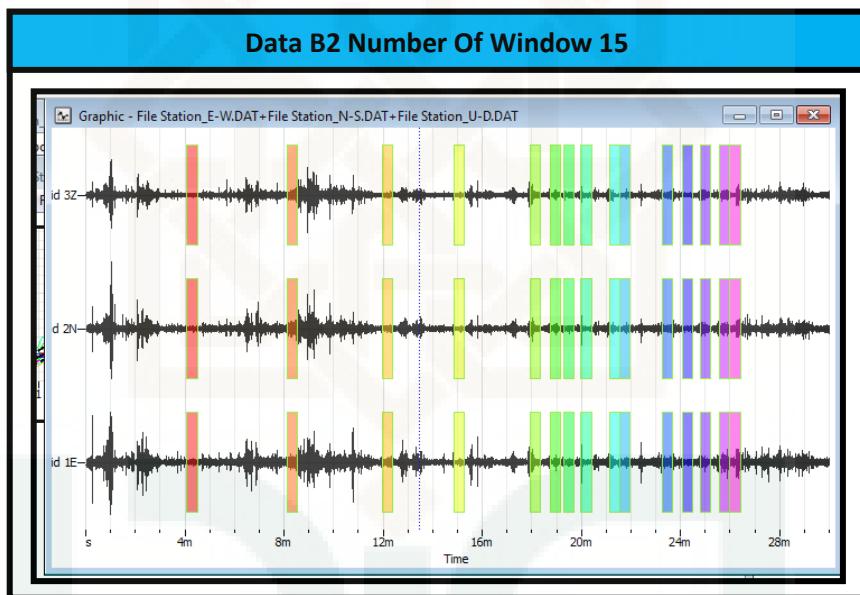
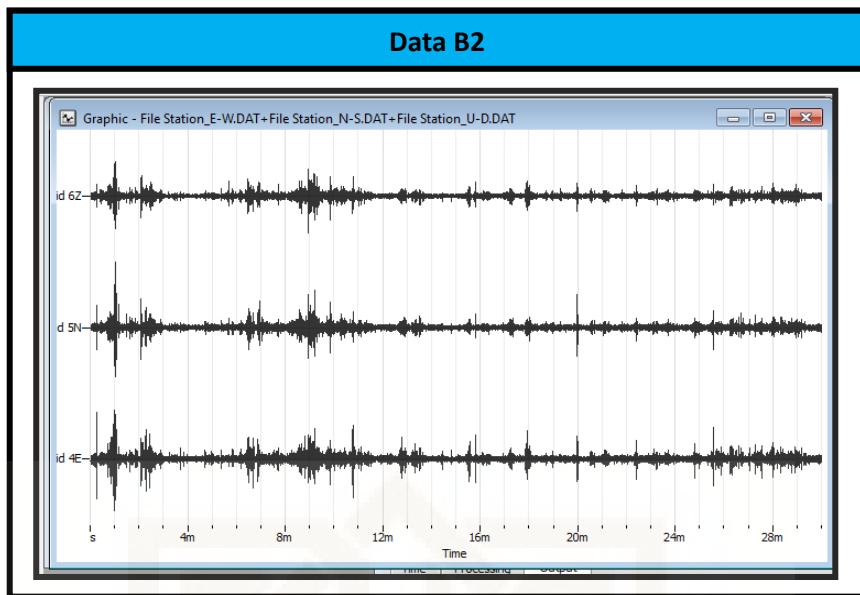
DAFTAR PUSTAKA

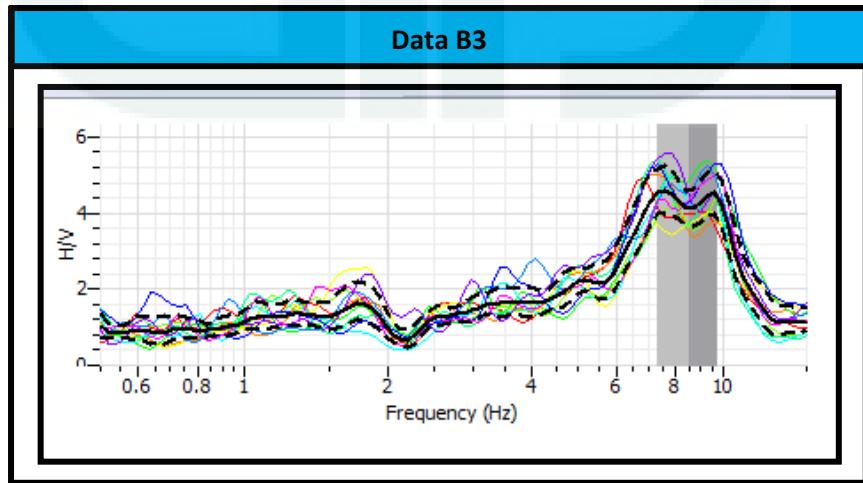
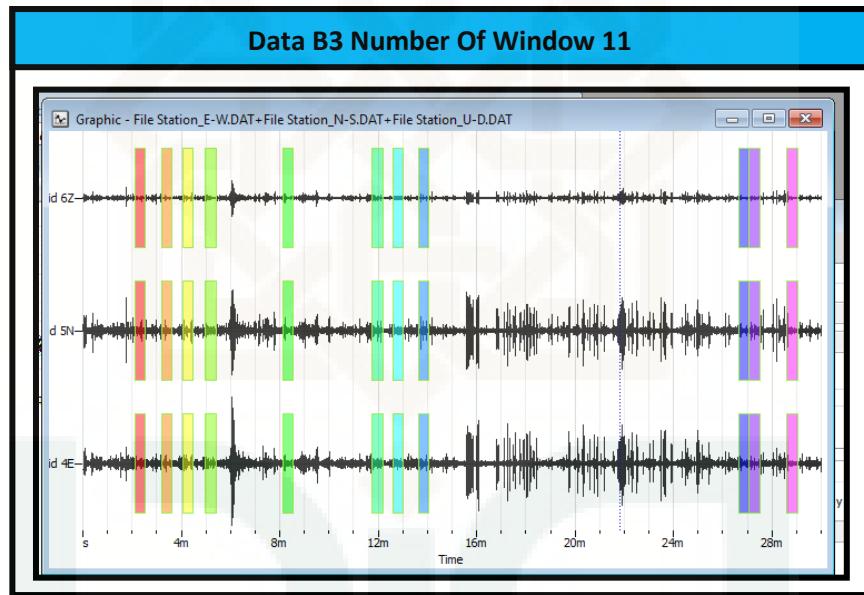
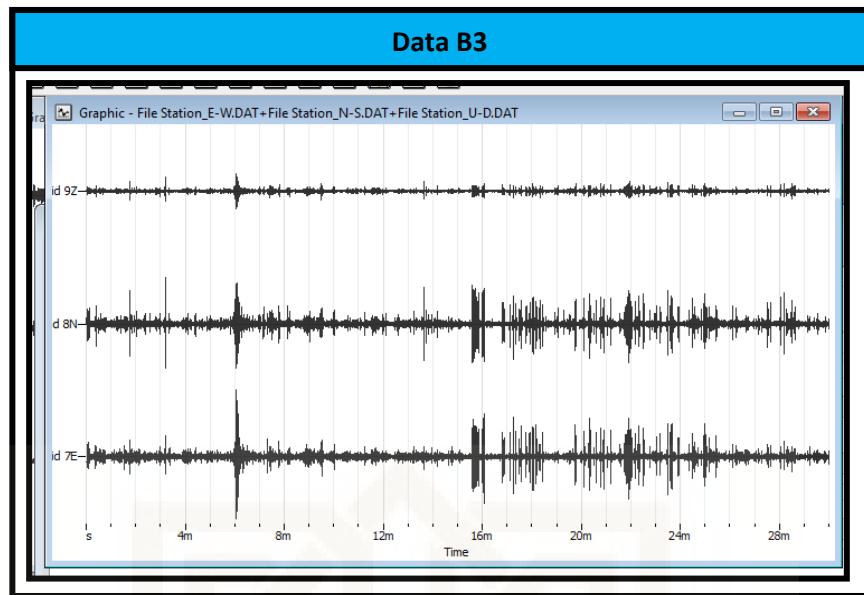
- Adib A. Afrzal, P. Heydarzadeh, K., 2015, Site Effect Classification Based On Microtremor Data Analysis Using A Concentration – Area Fractal Model, *Nonlin. Processes. Geophys.*, 22, 53-63.
- Afnimar, 2009, *Seismologi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Bukhori, Ahmad, dkk. 2011. Pemetaan Wilayah Rawan Bencana Berdasarkan Data Mikroseismik Menggunakan TDS (Time Digital Seismograph) Tipe 303 S. *Jurnal Neutrino* , Vol. 3 no 2 April 2011.
- Douglas, John, 2004, *Imperial College*, Departemen of Civil, London
- Giancoli. 2001. 78. *Secara rumus Seismograf adalah getaran maupun sensor getaran*. BMKG.
- Gosar, A. 2007. *Microtremor HVSR Study for Assessing Side effects in the Bovec Basin (NW Slovenia) Related to 1998 MW, 5.6 and 2004 MW 5, 2 Earthquake*. Else Iver enggineering Geology 91 (2007) 178-193.
- Hardjono, I, 2006, *Hierarki Gempa Bumi dan Tsunami (Aceh, Nias, Bantul, Pangandaran, dan Selat Sunda)*, Jurnal, Fakultas Geografi, Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- Kanai, Kiyosi dan Teiji Tanaka. 1961. *On Microtremor*. VIII. *Bull Earthquake Research Institute*.
- tipe, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) (Laberrta, 2013).
- Laberrta,. 2013 “*Tipe Gelombang badan (Body wave) dan gelombang permukaan*”. Jakarta.
- Nakamura, Y., *Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*, Quarterly report of RTRI, Railway Technical Research Institute (RTRI), 1989, Vol. 30, No.1.
- Nakamura, Y. Gurler, Dilek, E. Saita, Jun. Rovelli, Antonio. Donati, Stefano. 2000. *Vulnerability Investigation of Roman Colosseum Using Microtremor*. 12WCEE.
- Nakamura, Y., Sato, T., and Nishnaga, M. 2000. *Local Site Effect of Kobe Based on Microtremor Measurement*. Palm Springs California: Proceeding of the sixth International Conference on Seismic Zonation EERI
- OCHA, 2006, *Number of Earthquake Victim Bantul District*, Yogyakarta, OCHA Country Office, Indonesia
- Raharjo, Wartono et a.al. 1997. “*Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*”. Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia.
- Salahudin. Dkk, 2007, *Misteri di dalam Bumi Mataram*, Jurnal, Fakultas Geologi UGM, Yogyakarta.
- Saputro, Nanang Eko. 2007. “*Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) Akibat dari Gempa Utama Yogyakarta 27 Mei 2006 dan Susulannya Dengan Metode kanai Pendekatan Suber Garis Untuk Gempa Utama dan Sumber titik untuk gempa Susulan*”. FMIPA UGM Yogyakarta.
- Sears WF and Zemansky WM, 1994, *Fisika Untuk Universitas*, Binacipta, Jakarta
- Subardjo, 2008. *Parameter Gempabumi*. Materi Diklat Teknis. BMKG. Jakarta.

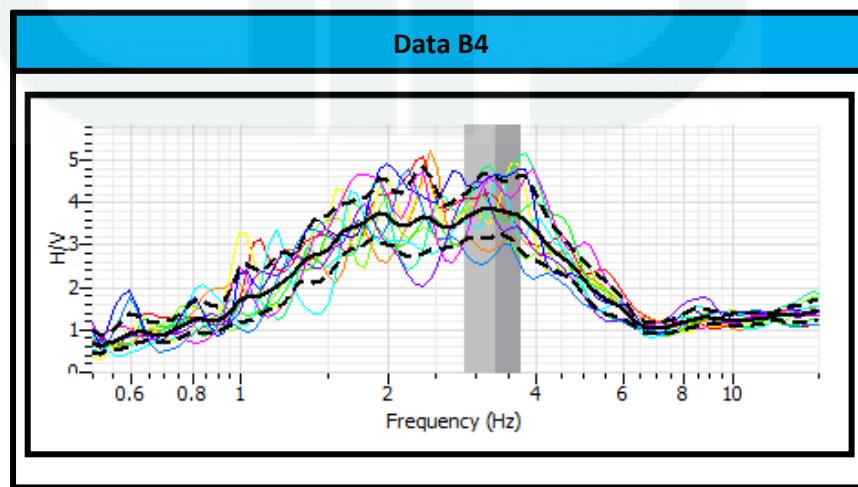
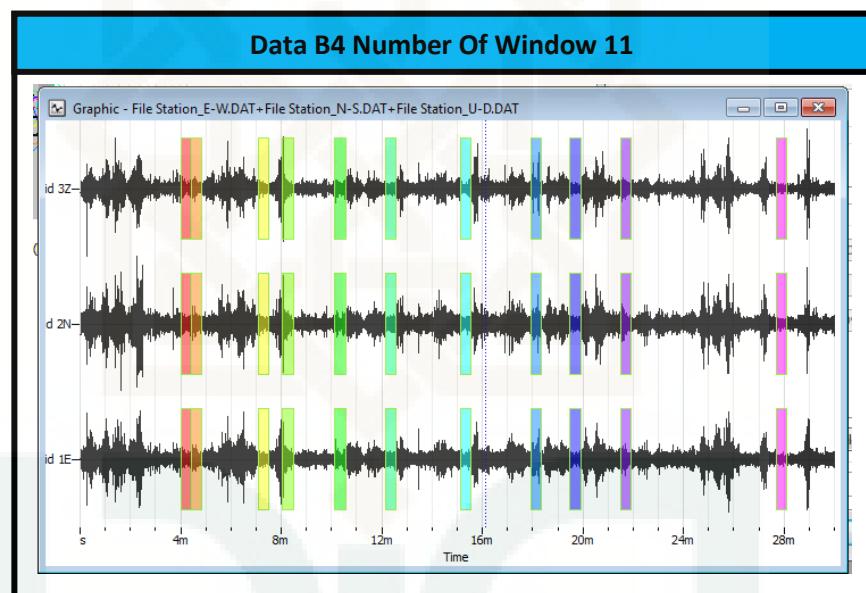
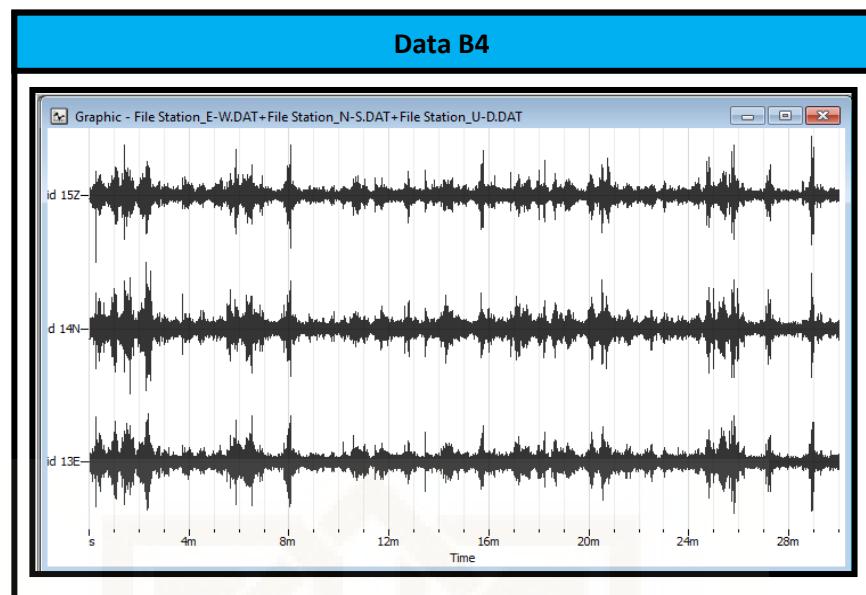
- Subardjo, Gunawan Ibrahim. 2005. *Pengetahuan Sesimologi*. Jakarta: BMKG.
- Subawa, E, Tohari A, Sarah, D. 2007, *Studi Potensi Likuifasi Di Daerah Zona Patahan Opak Patalan-Bantul, Yogyakarta*, Prosiding Seminar Geoteknologi Kontribusi Ilmu Kebumian Dalam Pembangunan Berkelanjutan, Bandung. ISBN : 978-979-799-5.
- Tippler P, 1991. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Penerbit Erlangga, Jakarta.

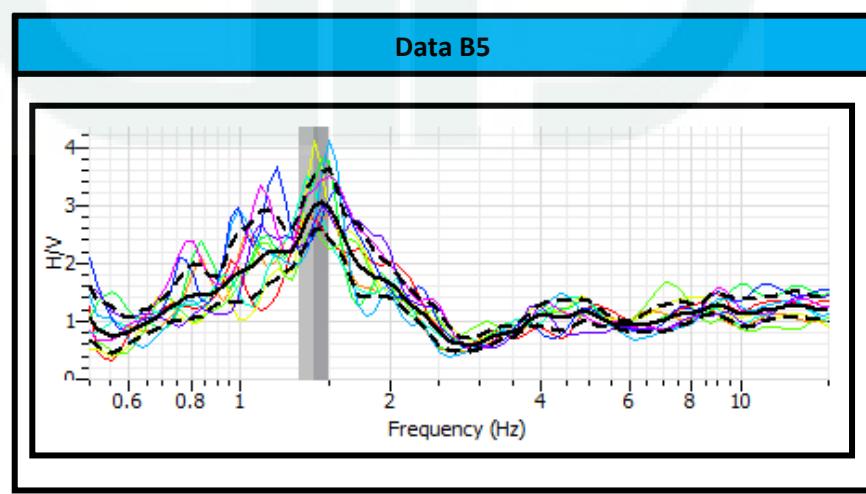
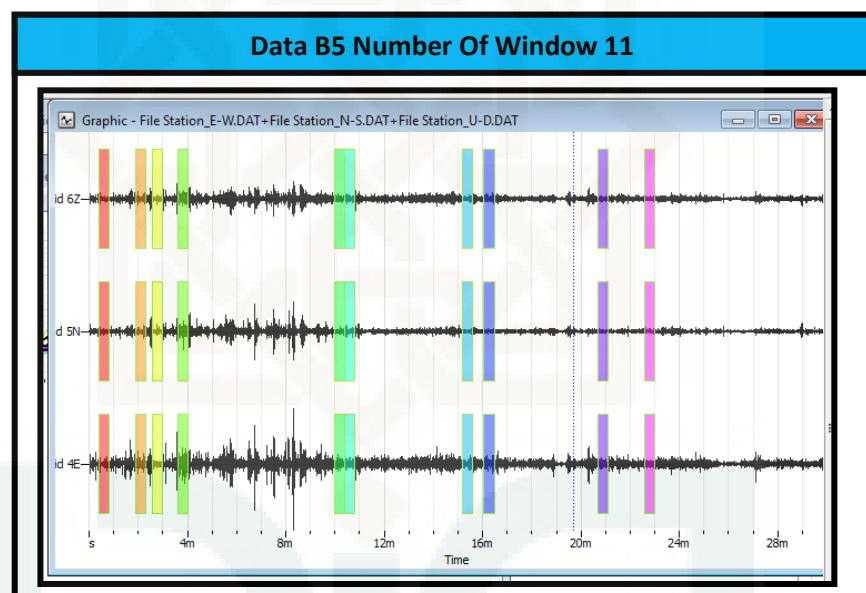
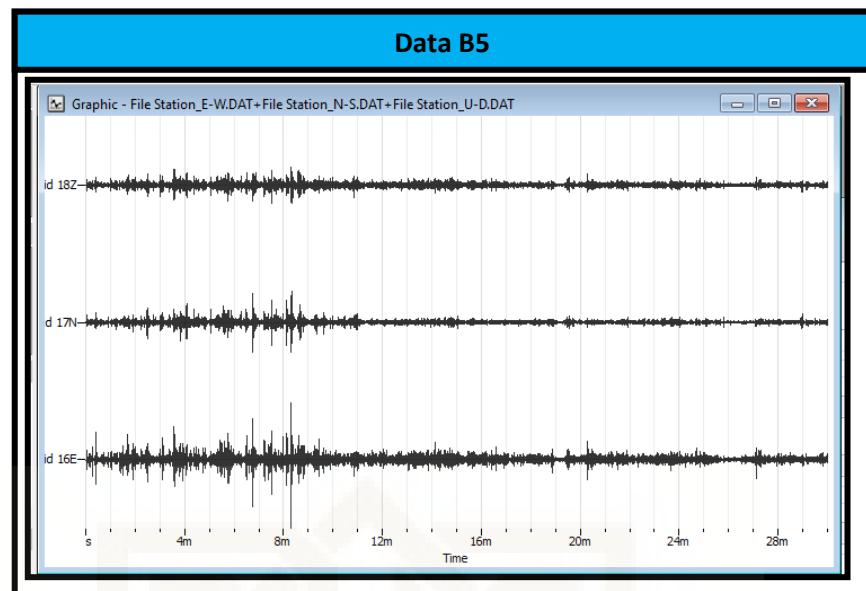
LAMPIRAN I
HASIL PENGOLAHAN GEOPSY

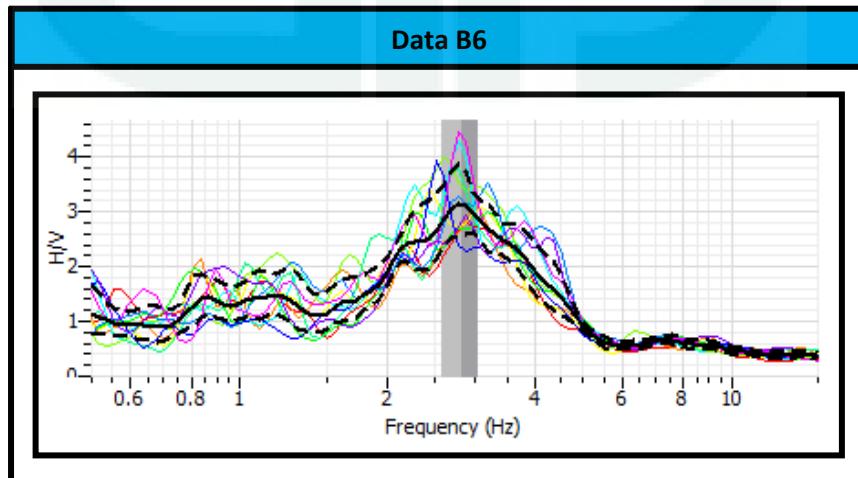
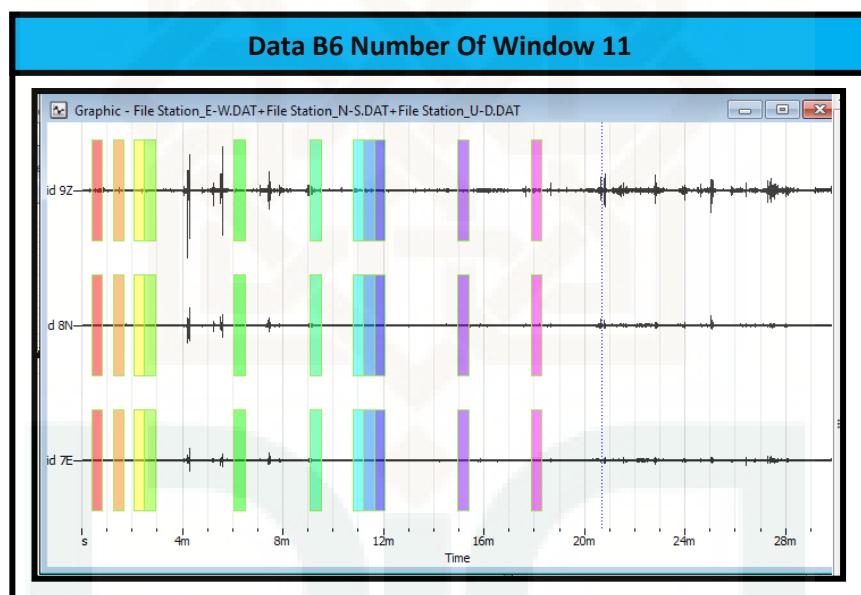
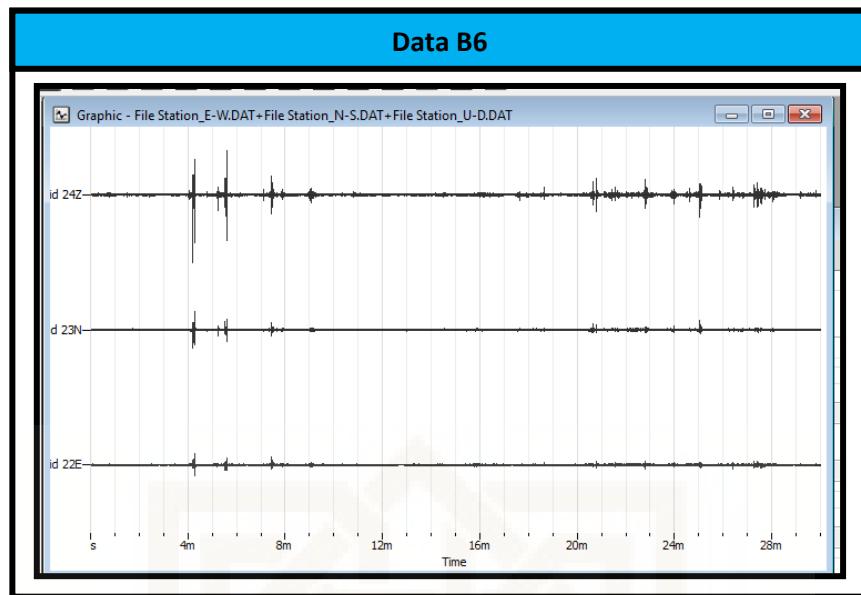


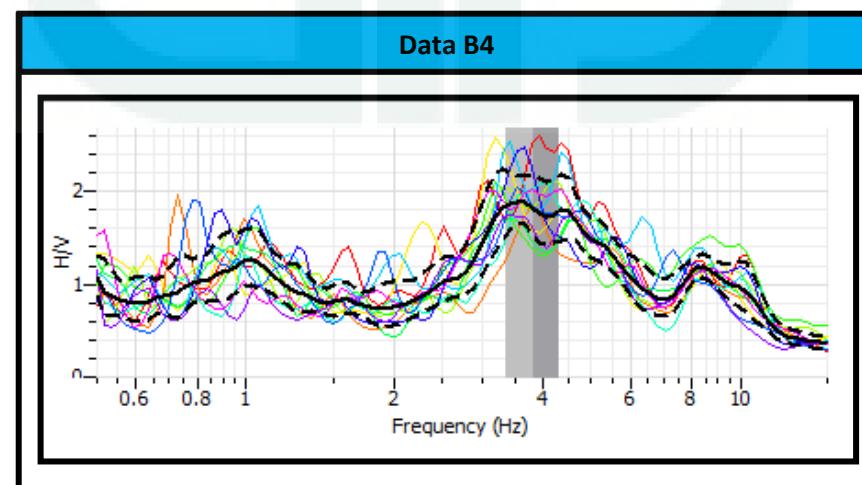
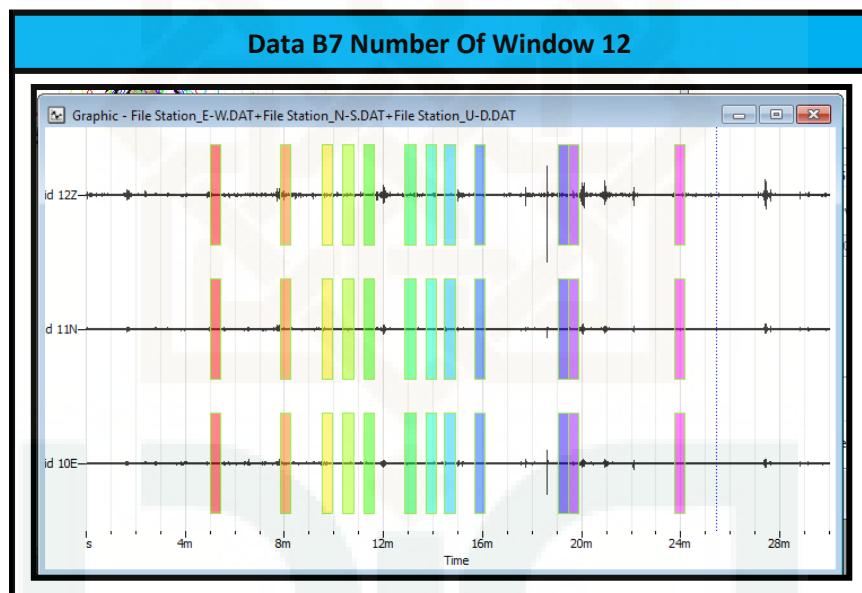
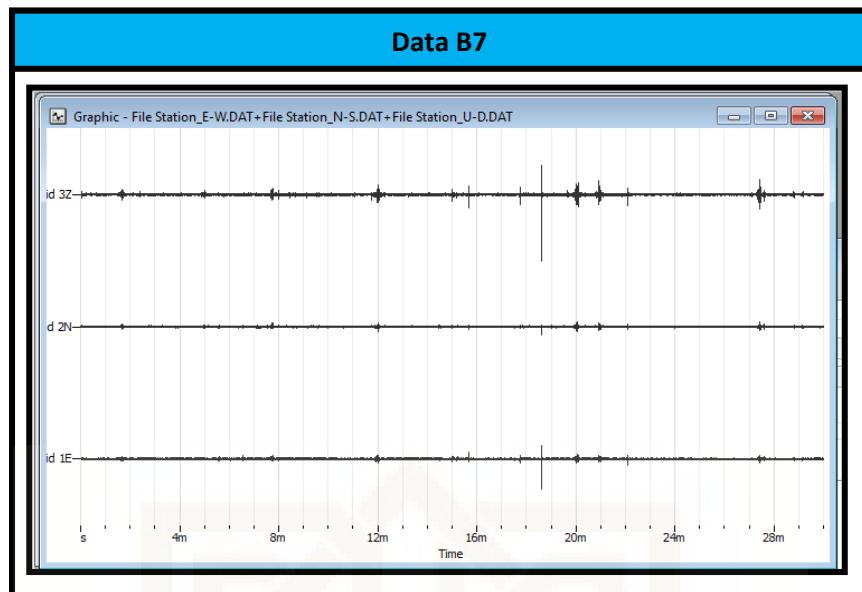


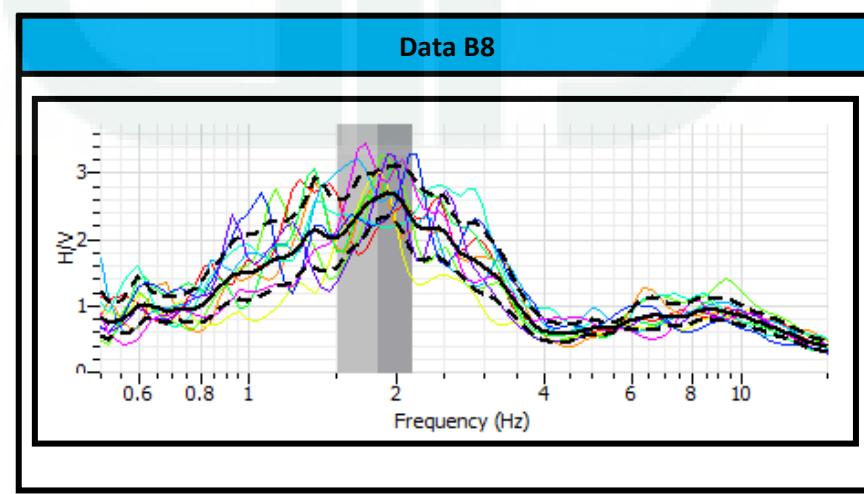
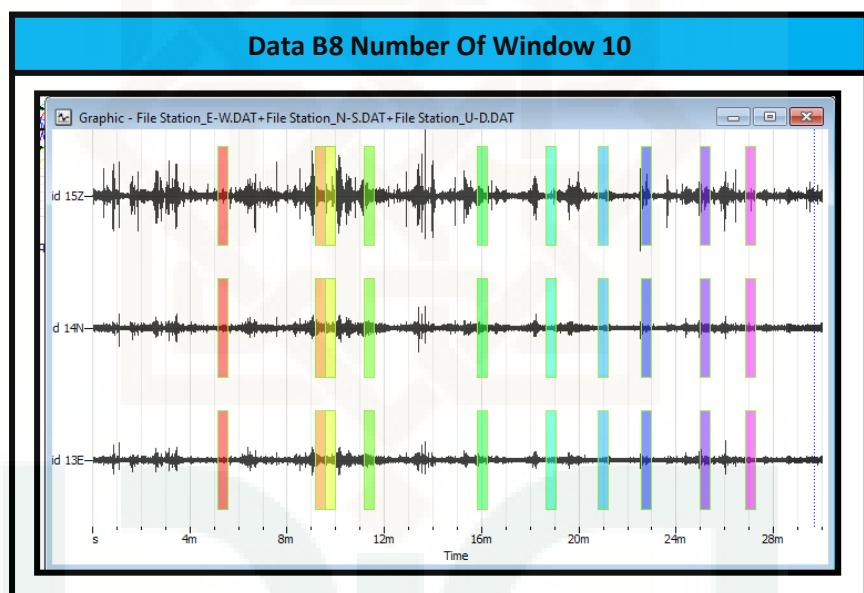
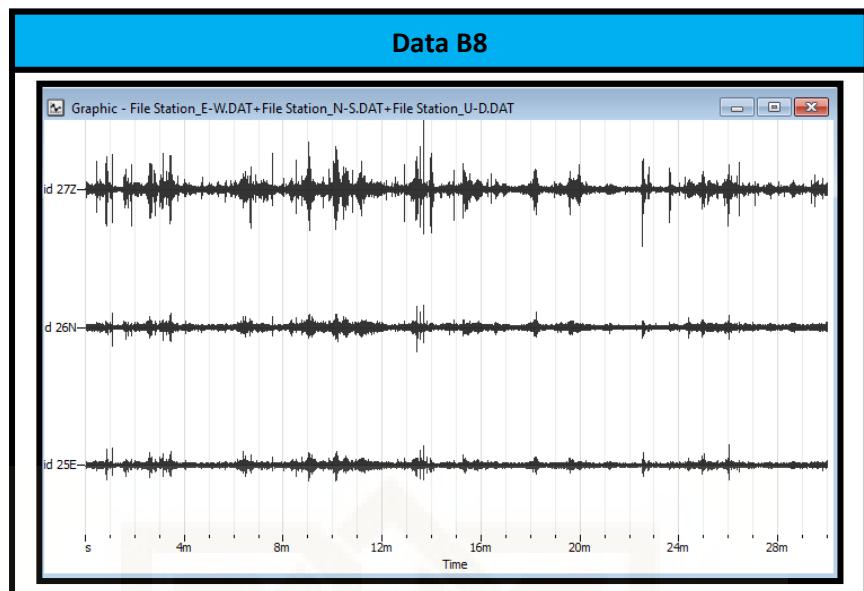


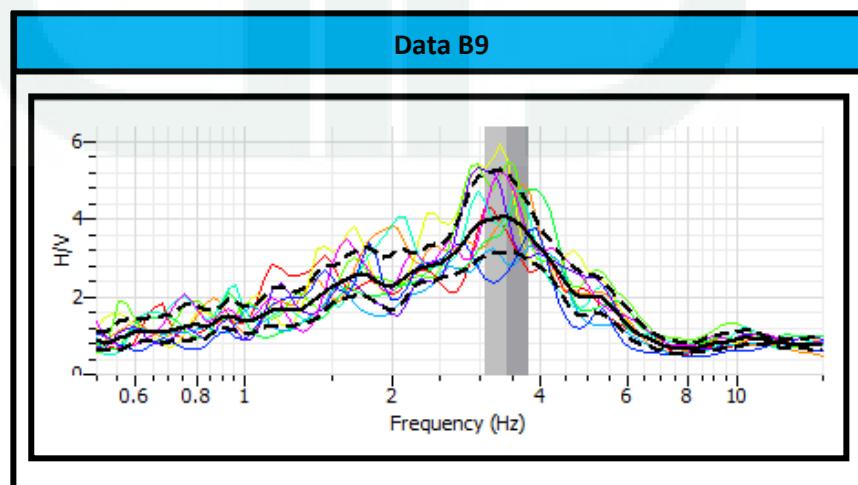
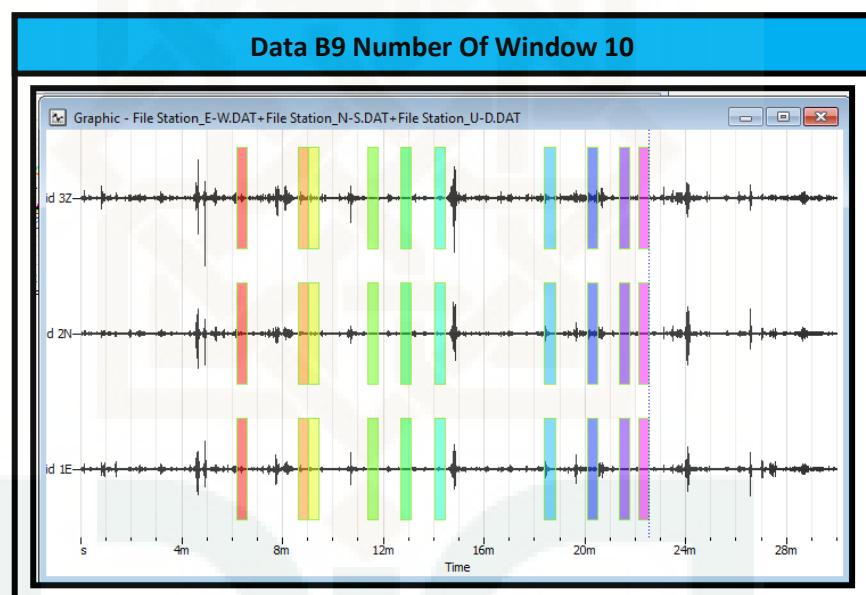
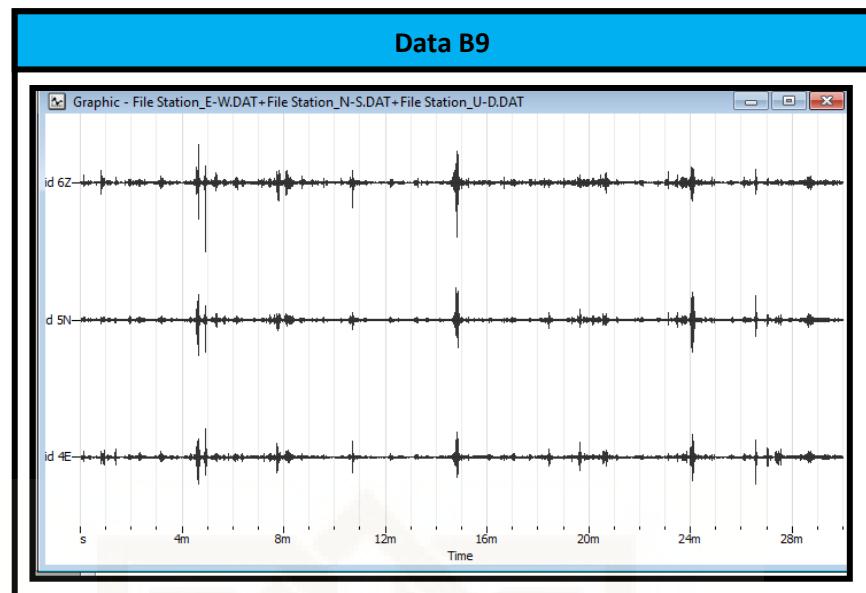


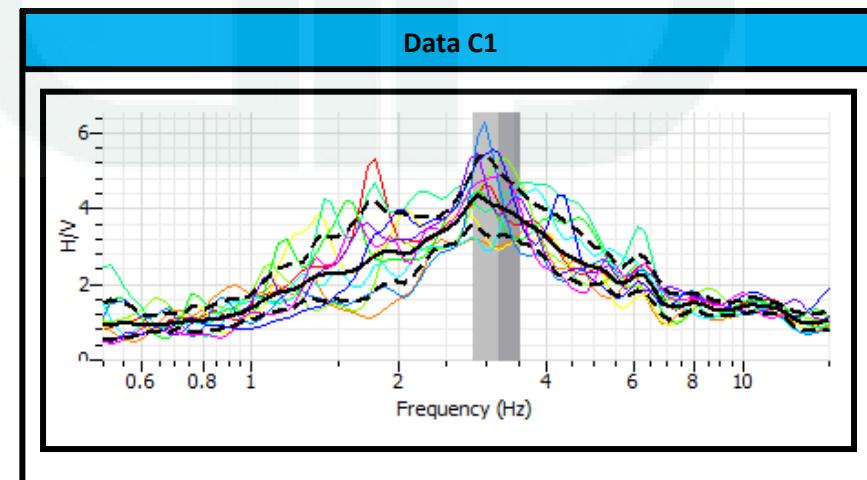
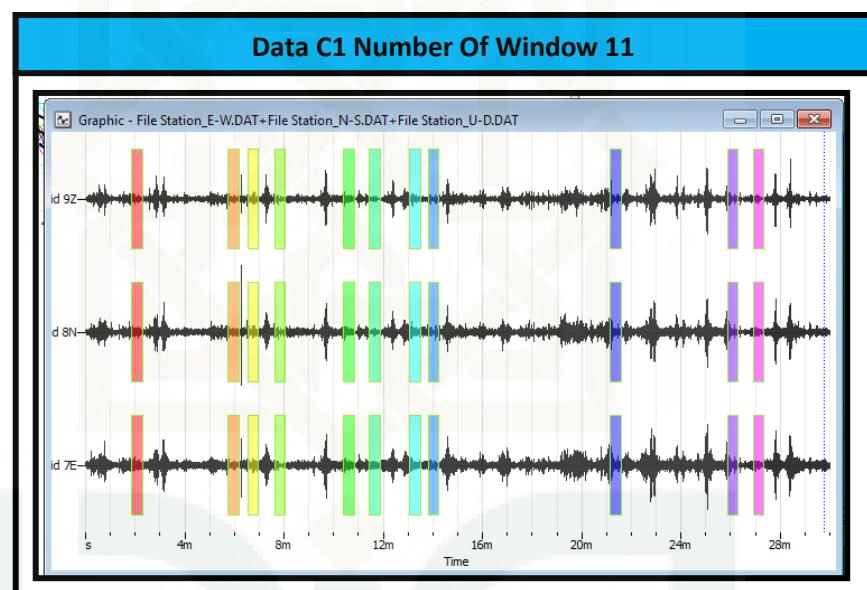
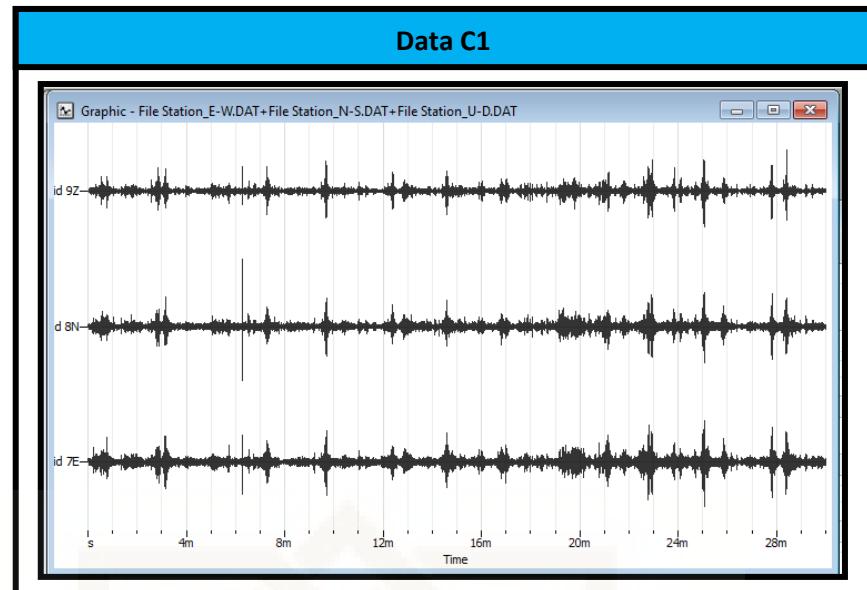


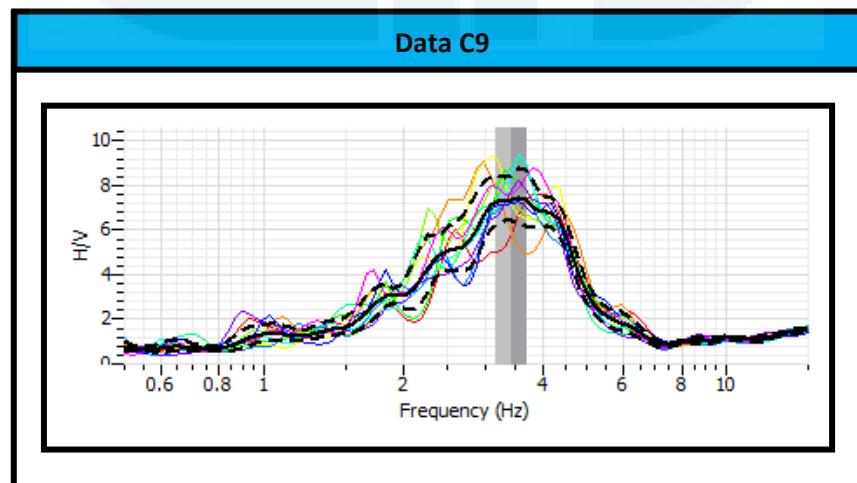
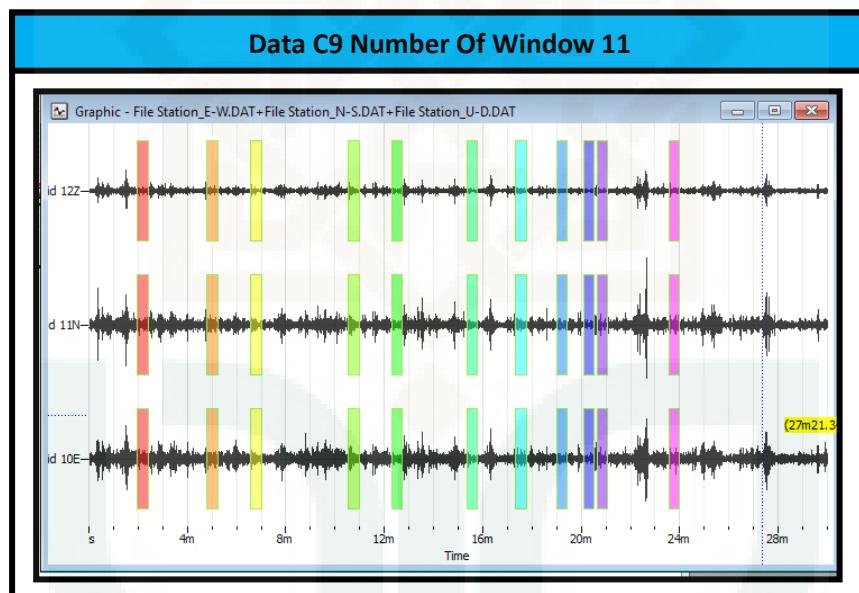
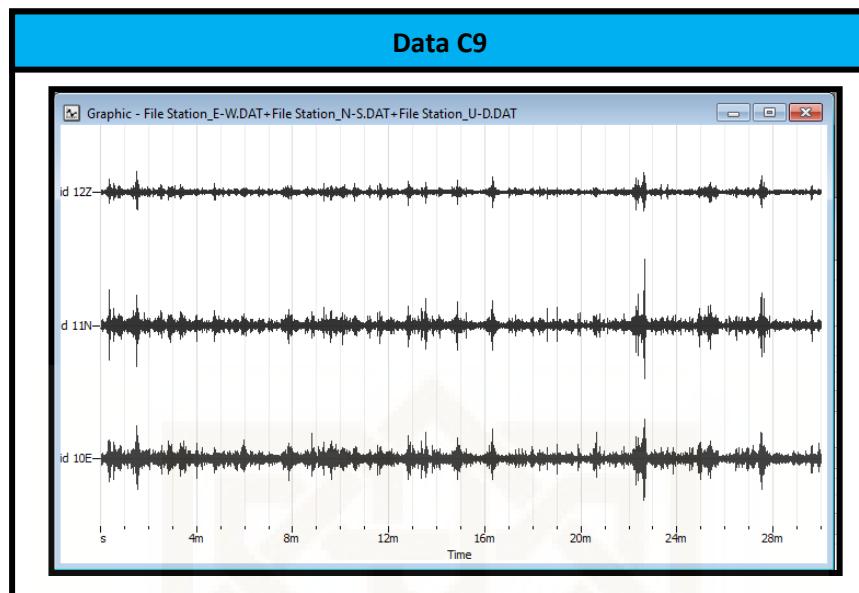


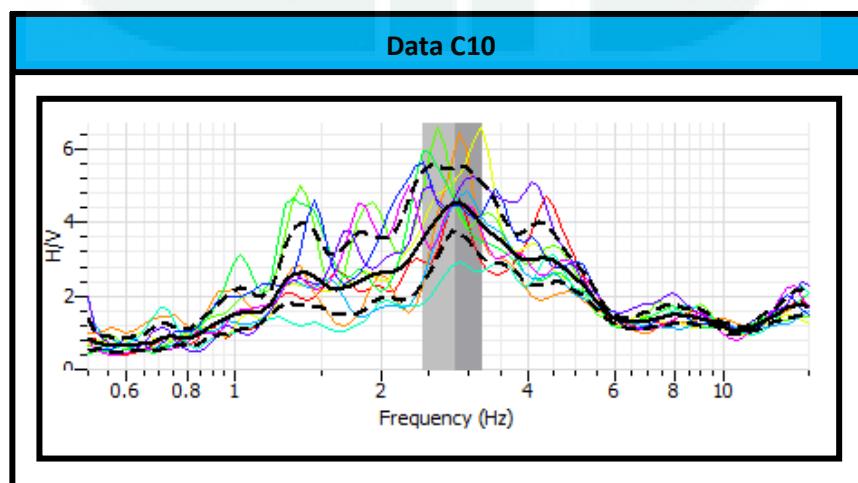
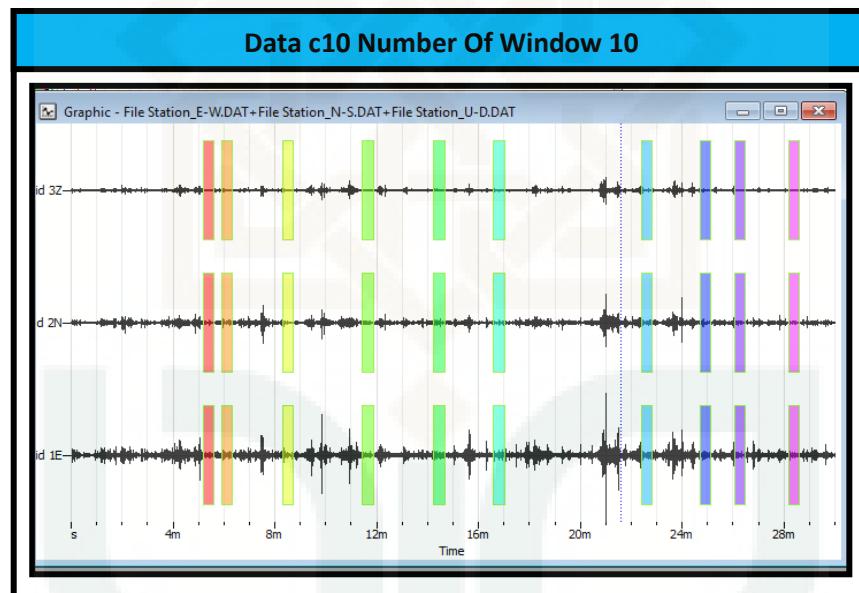
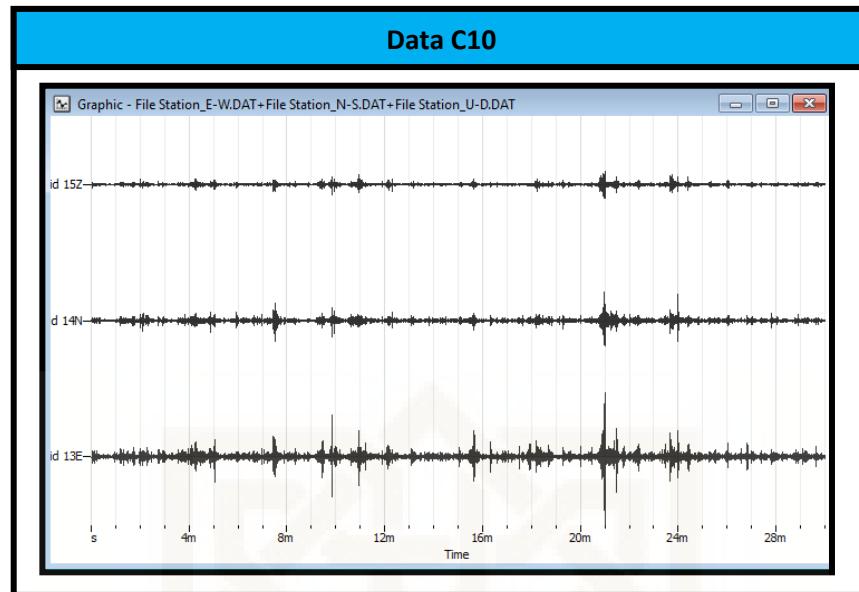


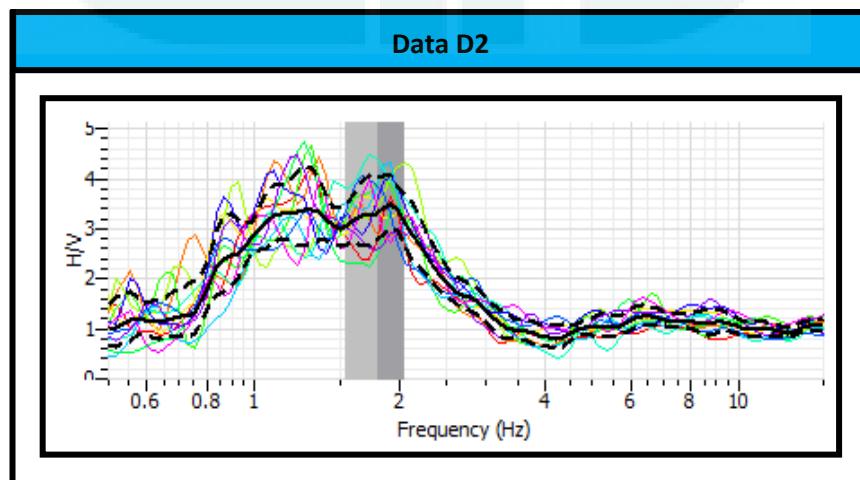
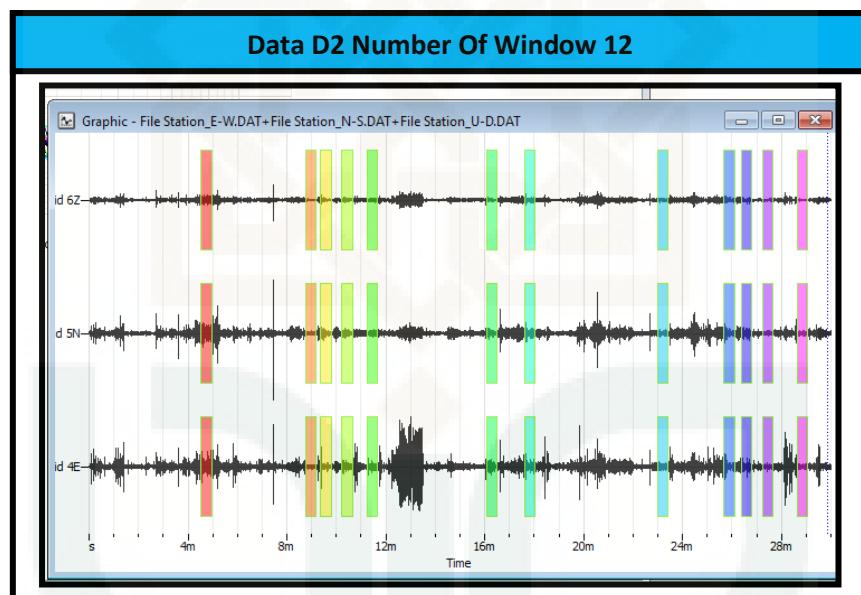
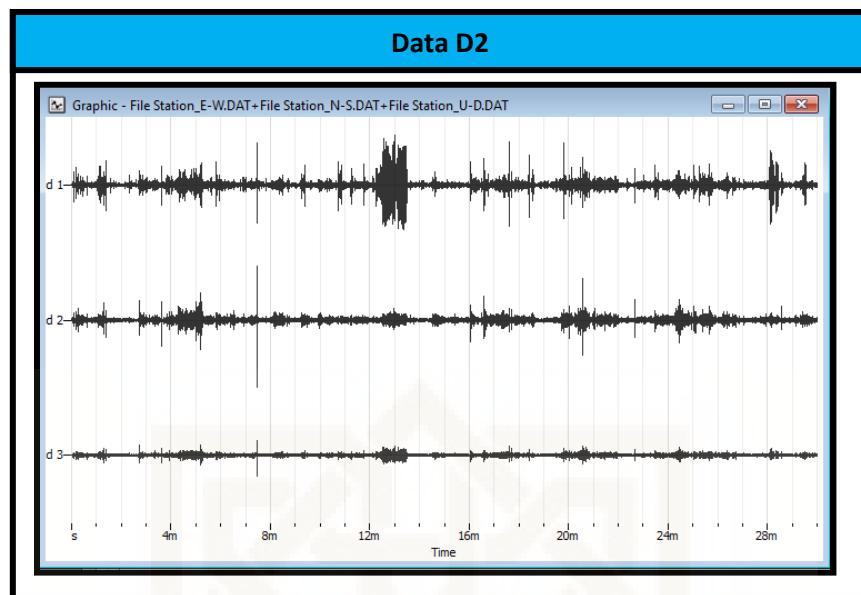


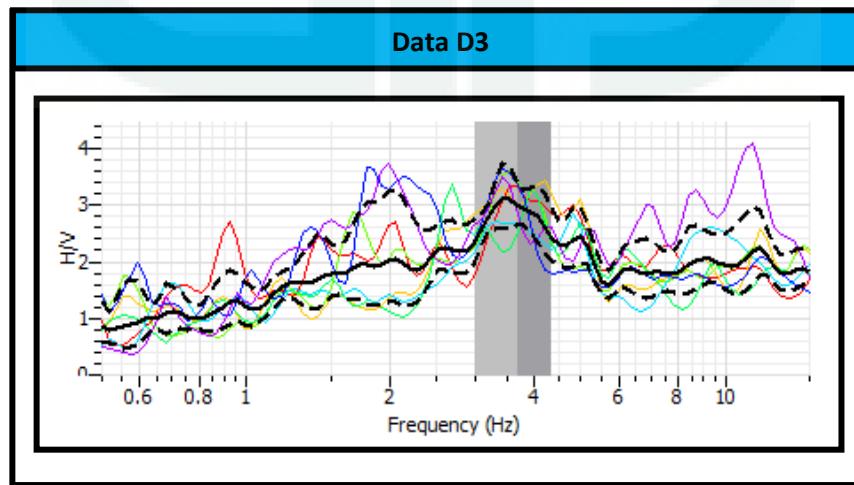
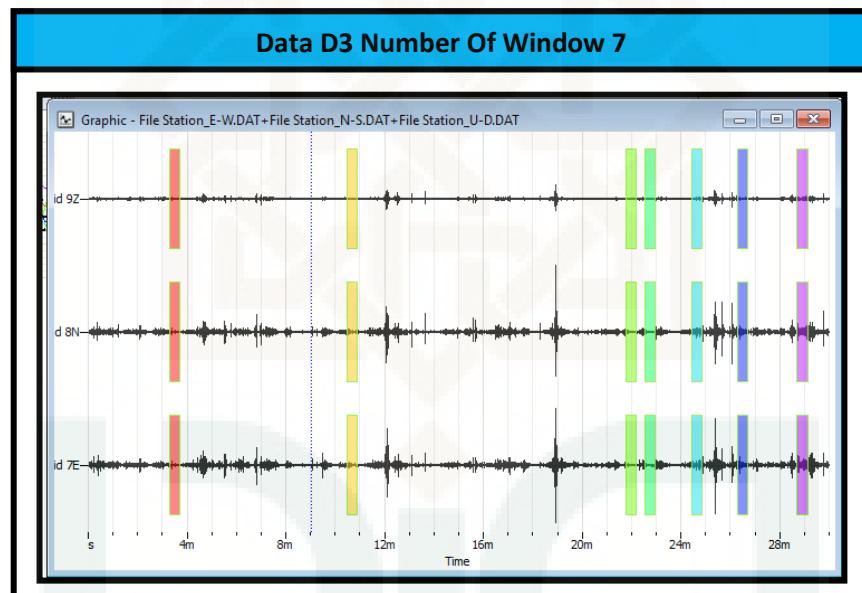
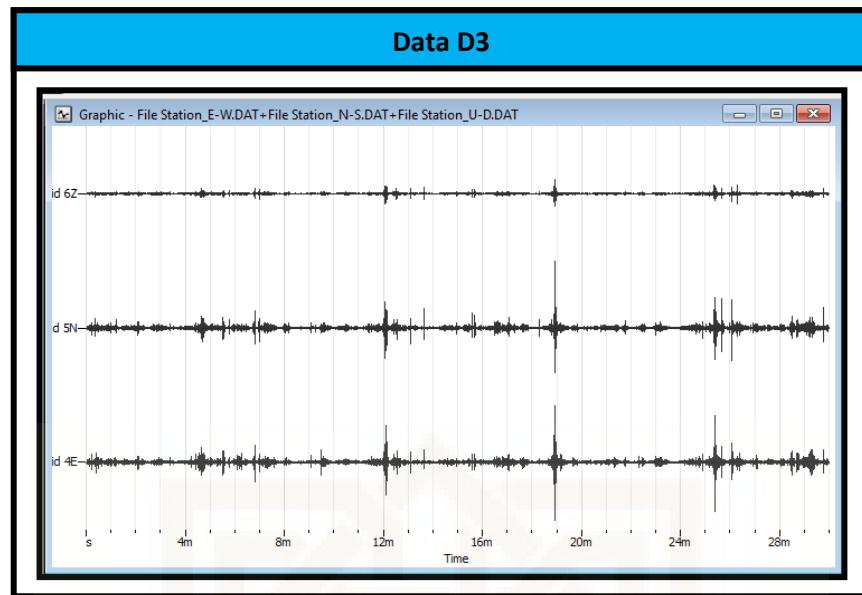


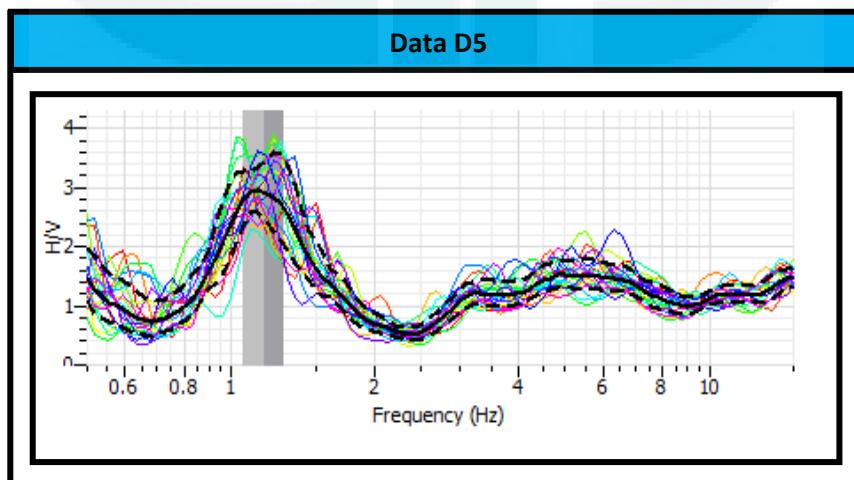
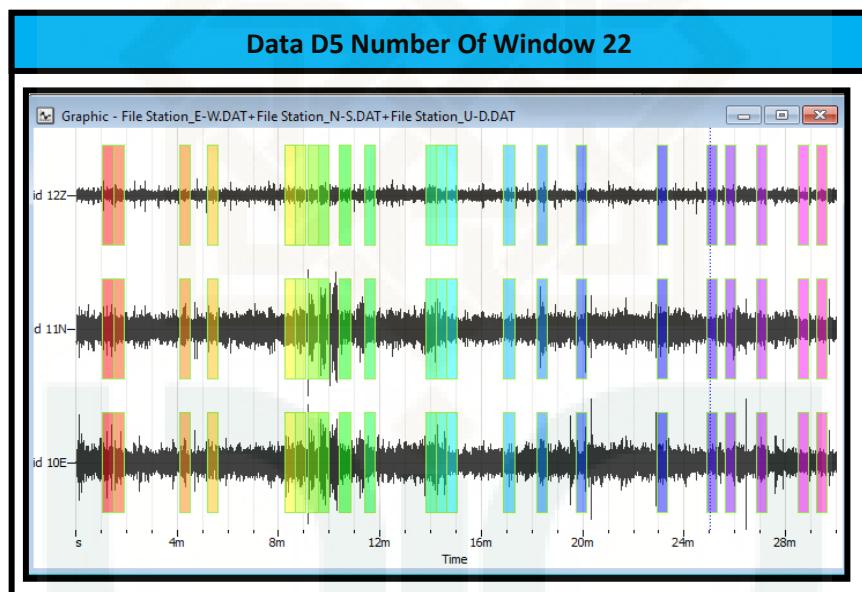
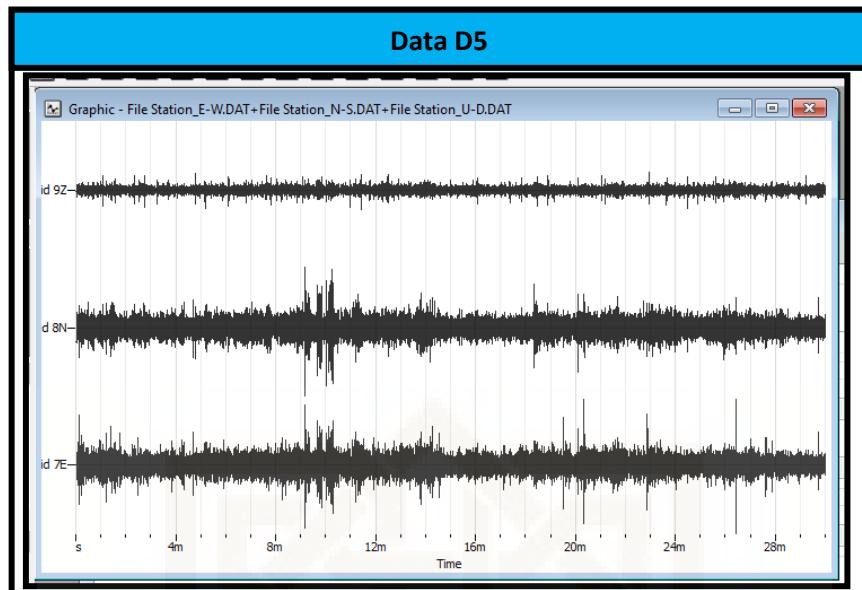


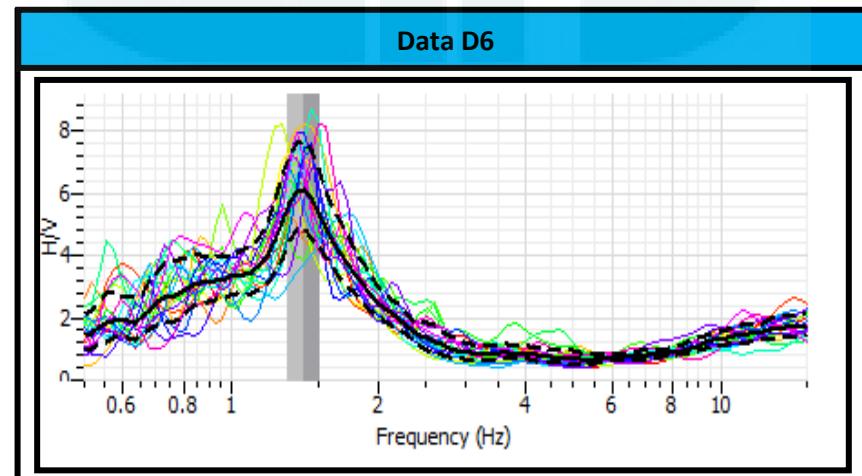
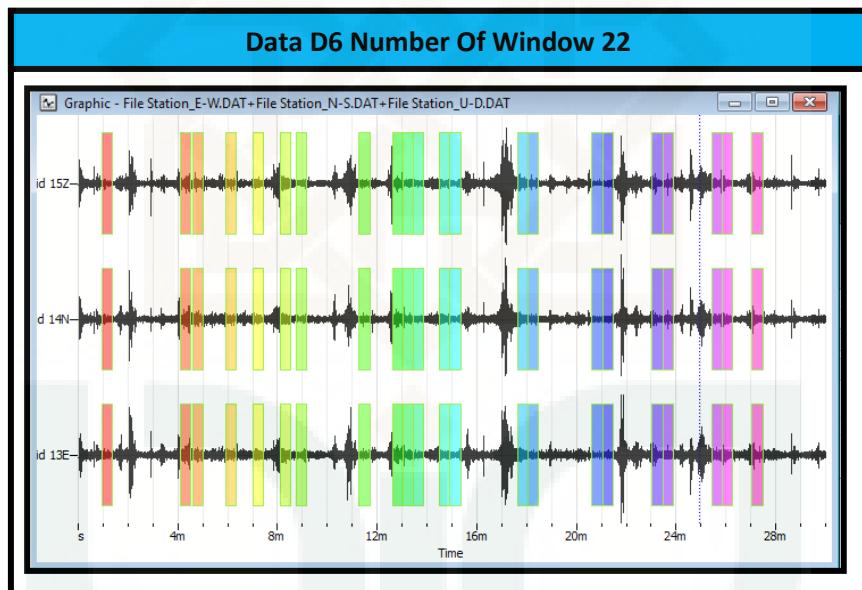
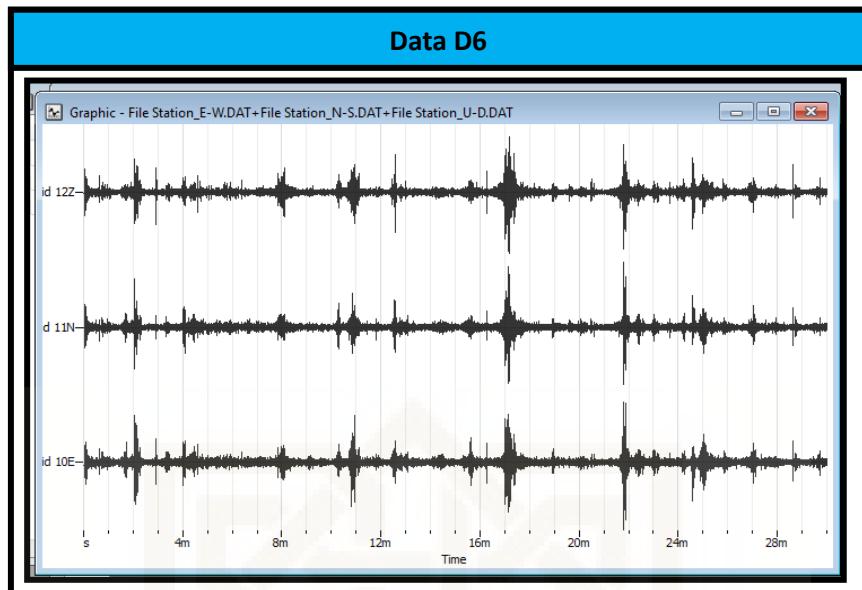


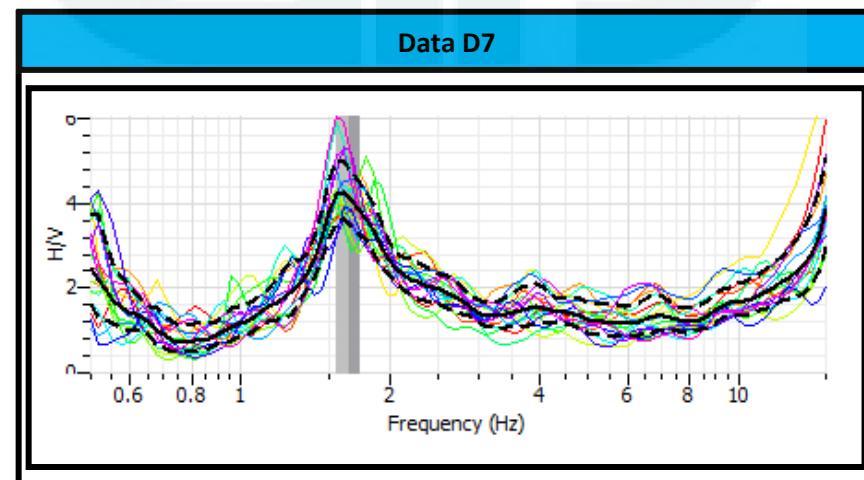
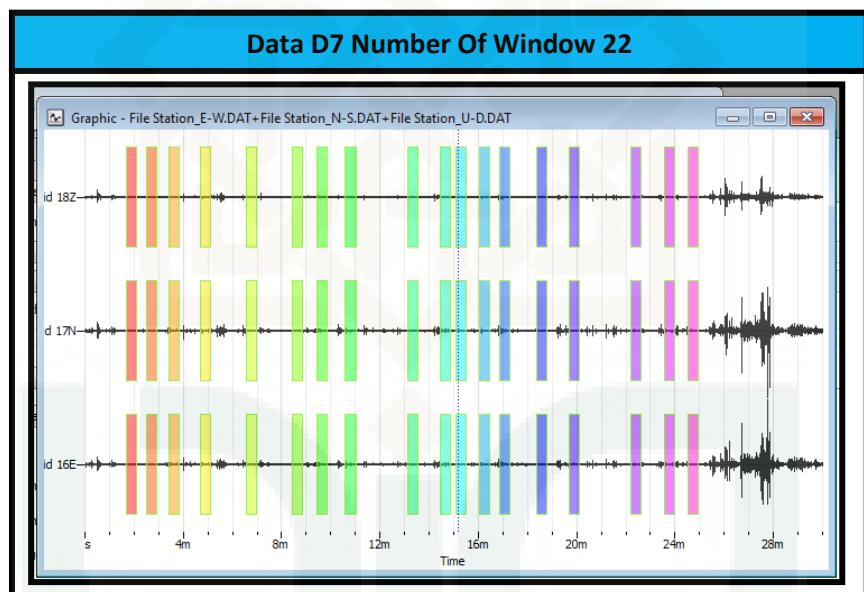
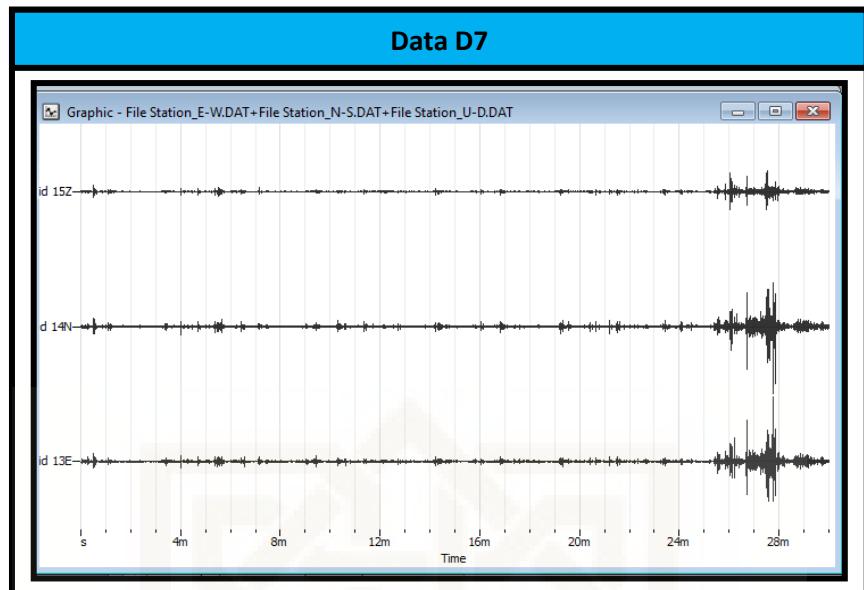


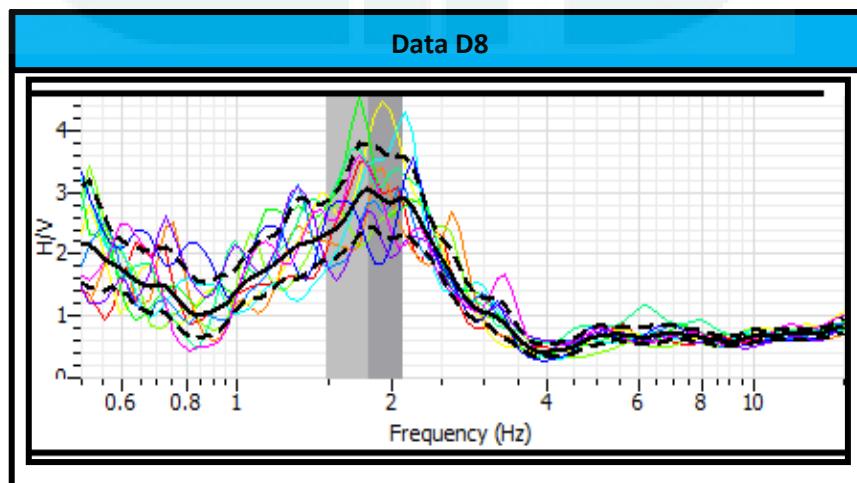
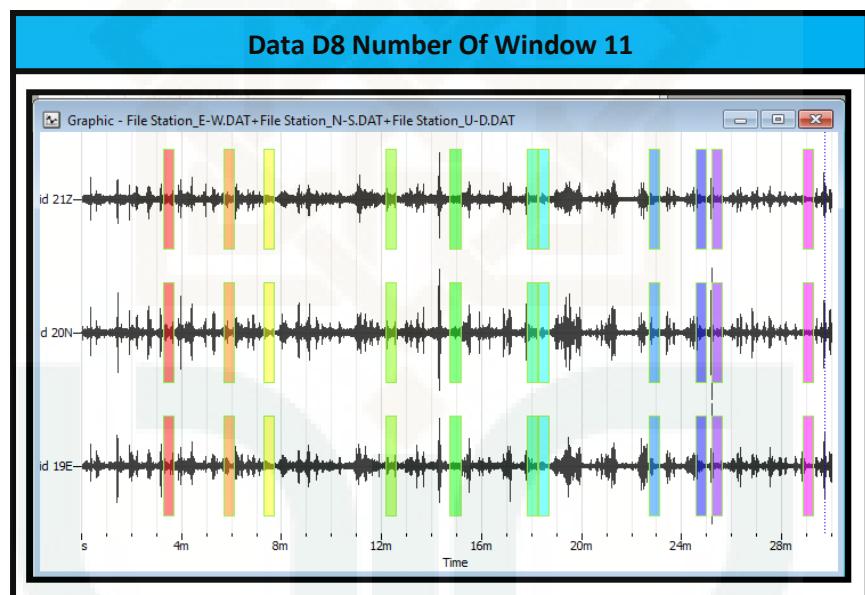
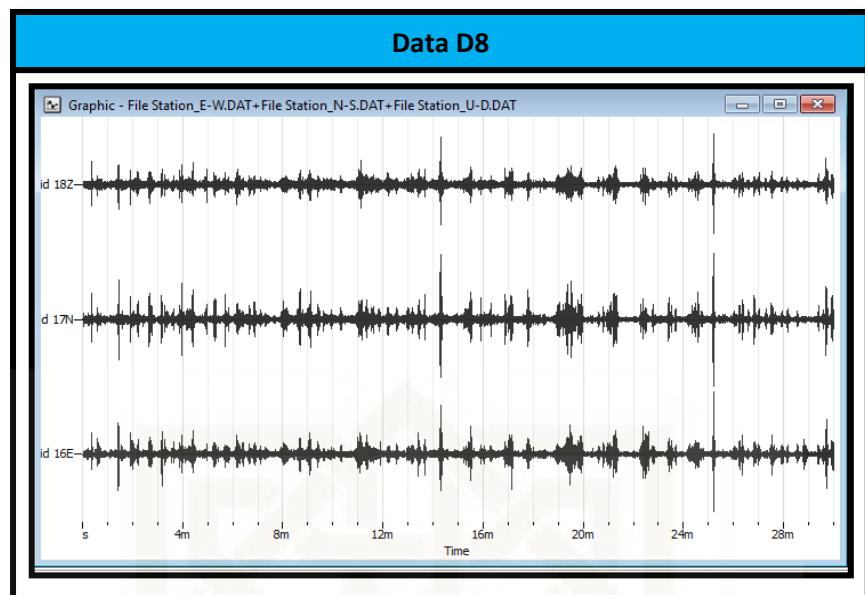


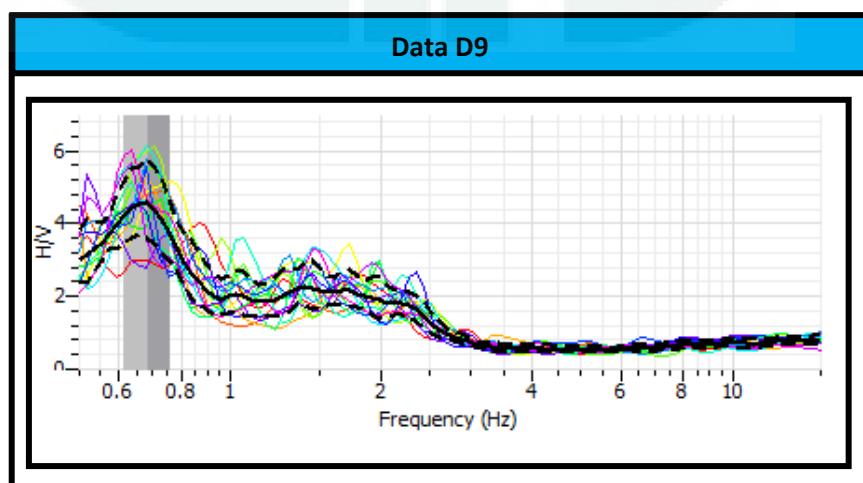
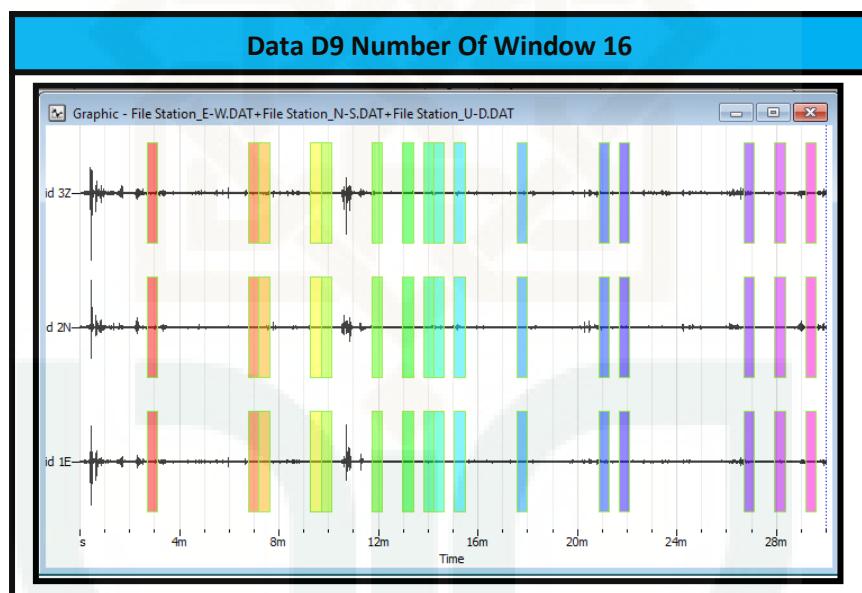
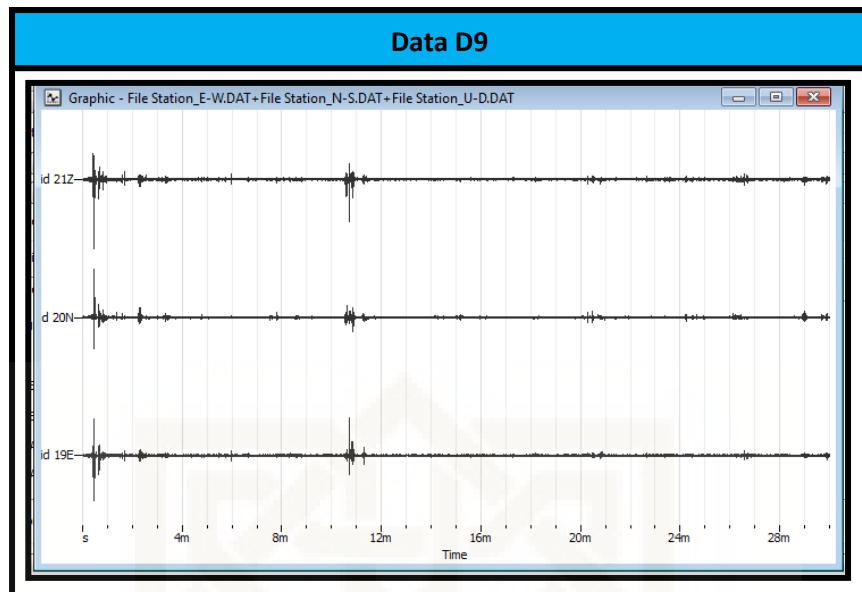


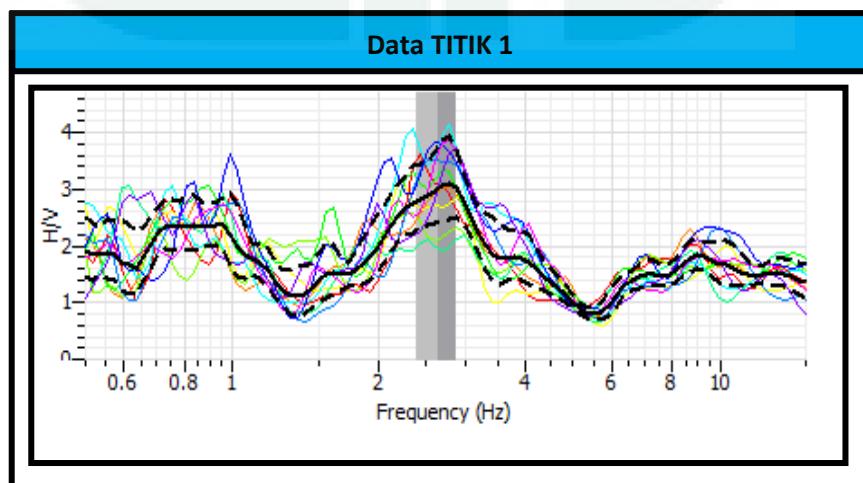
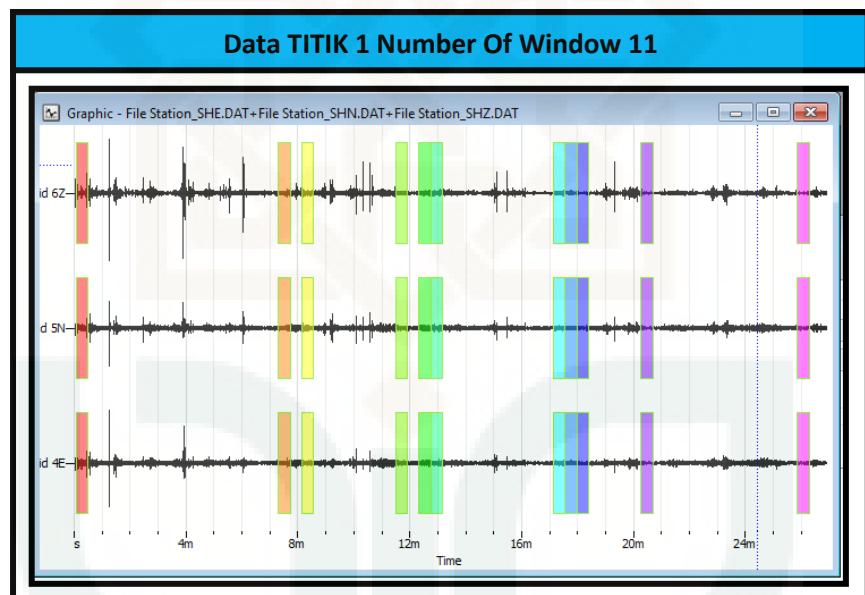
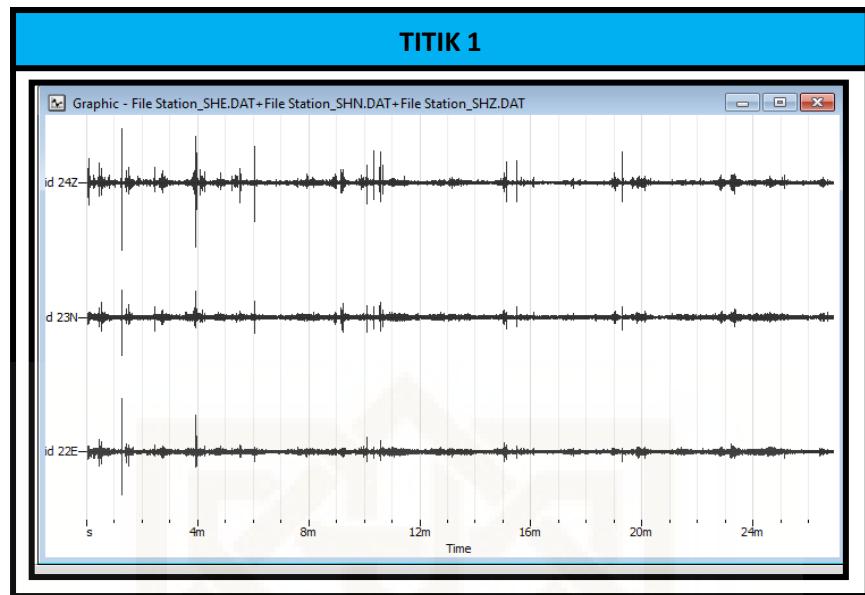


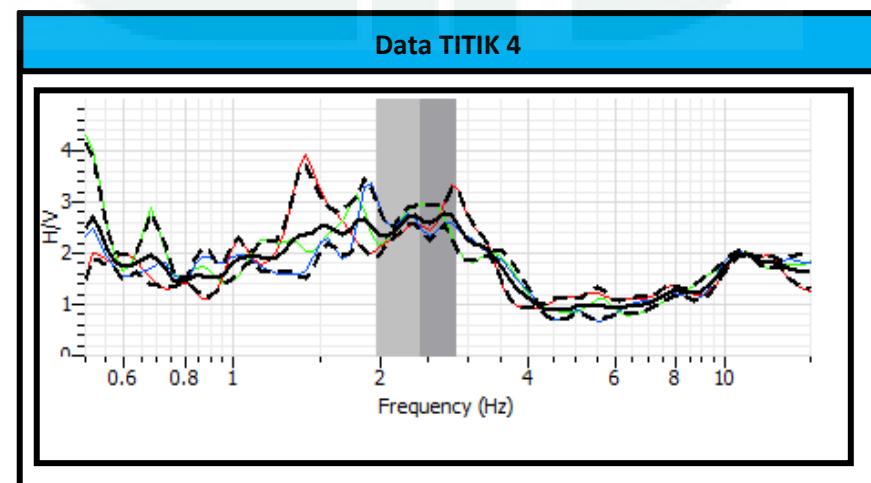
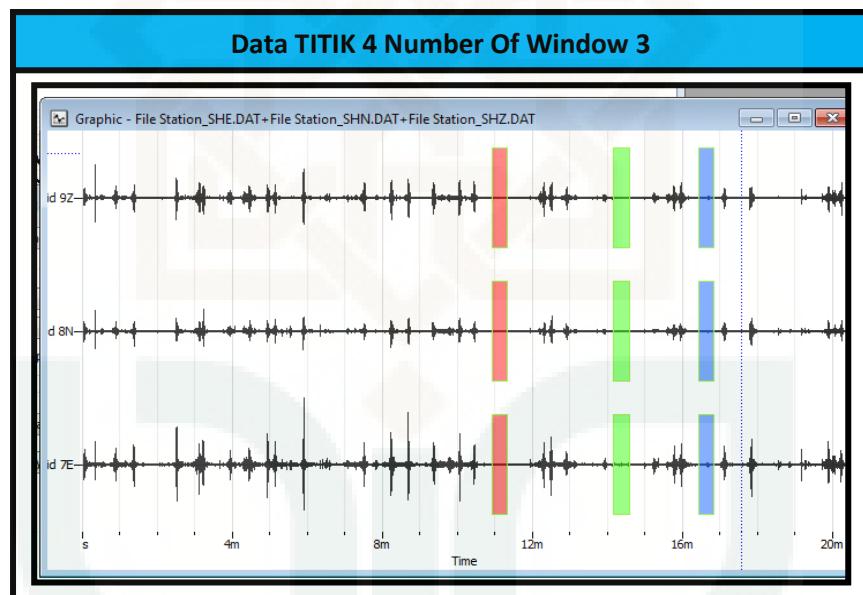
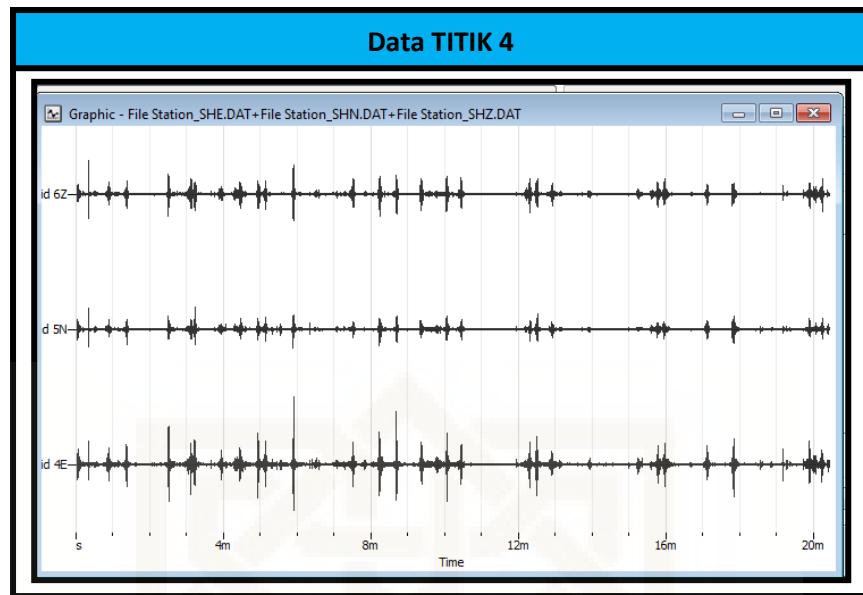


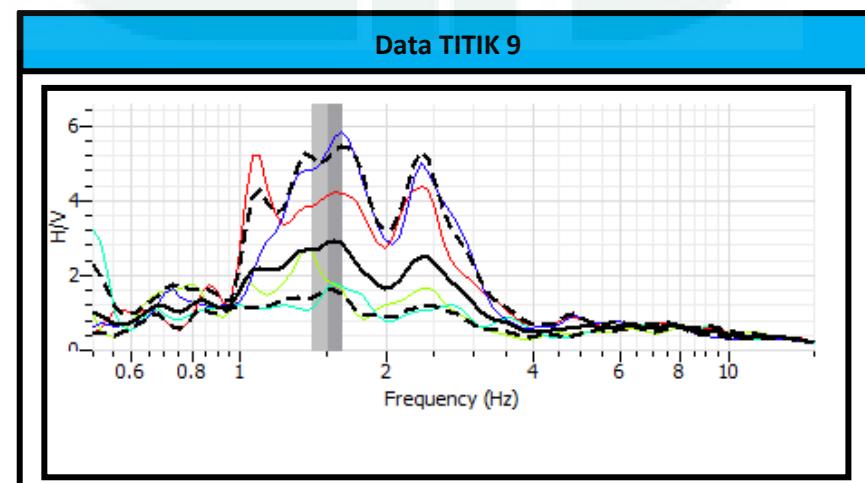
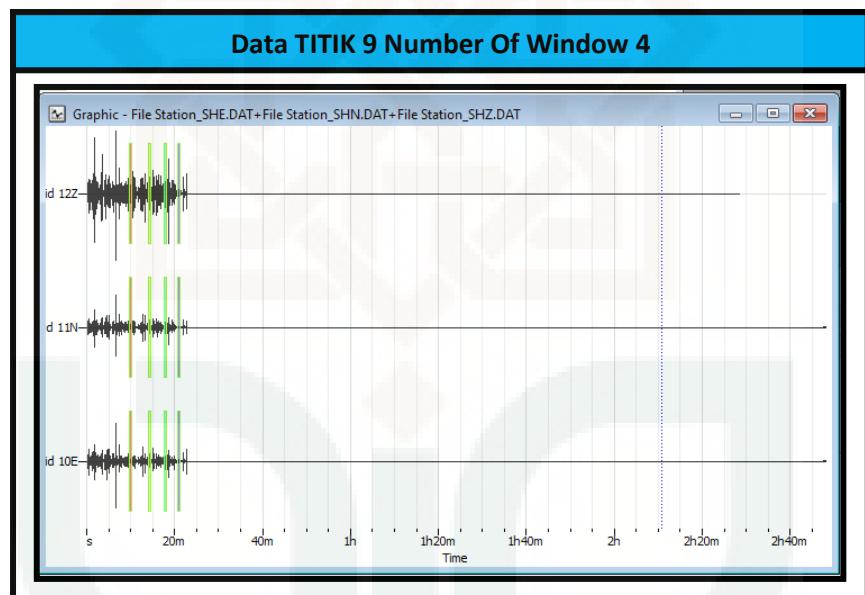
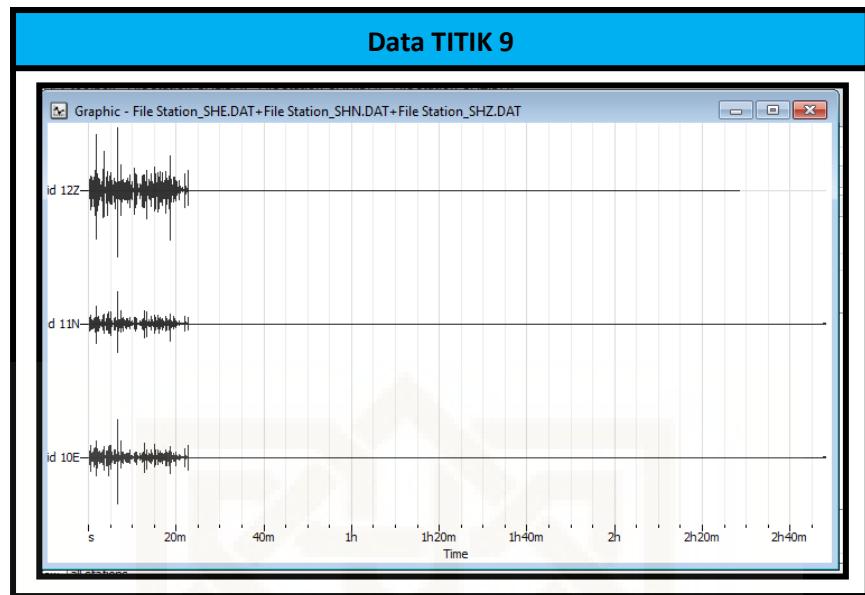


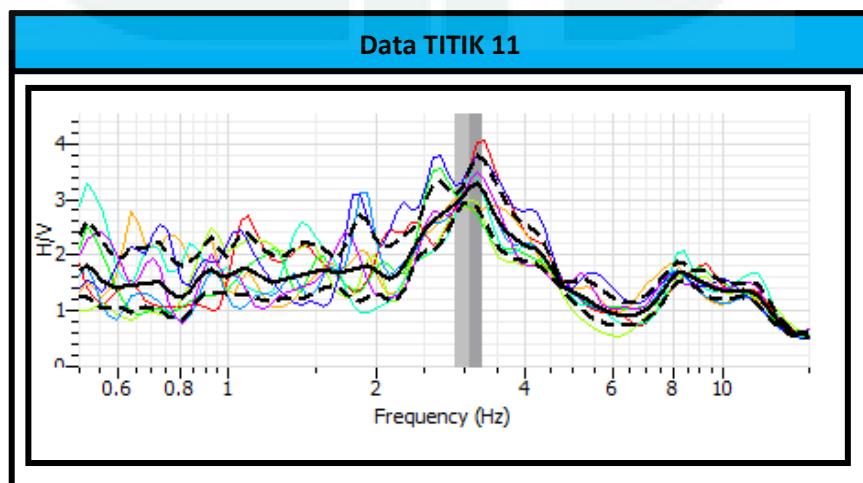
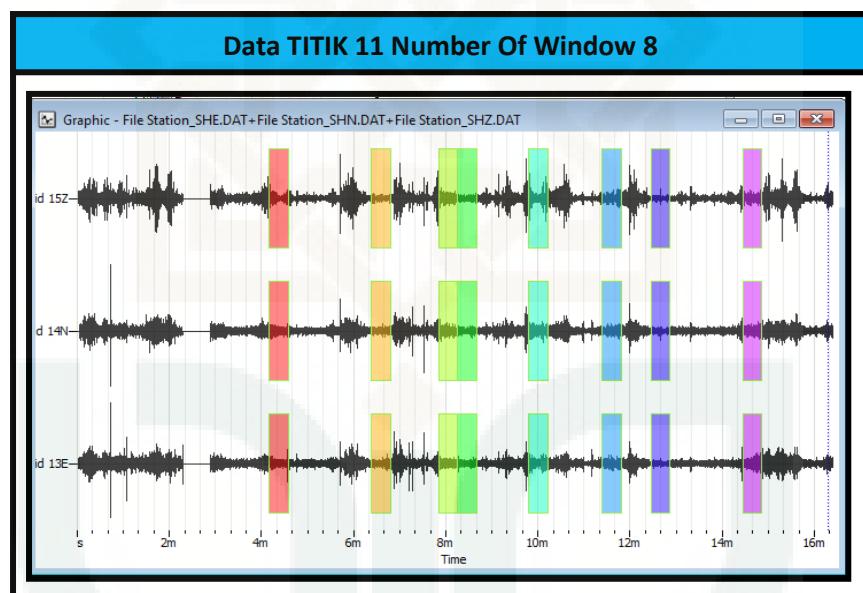
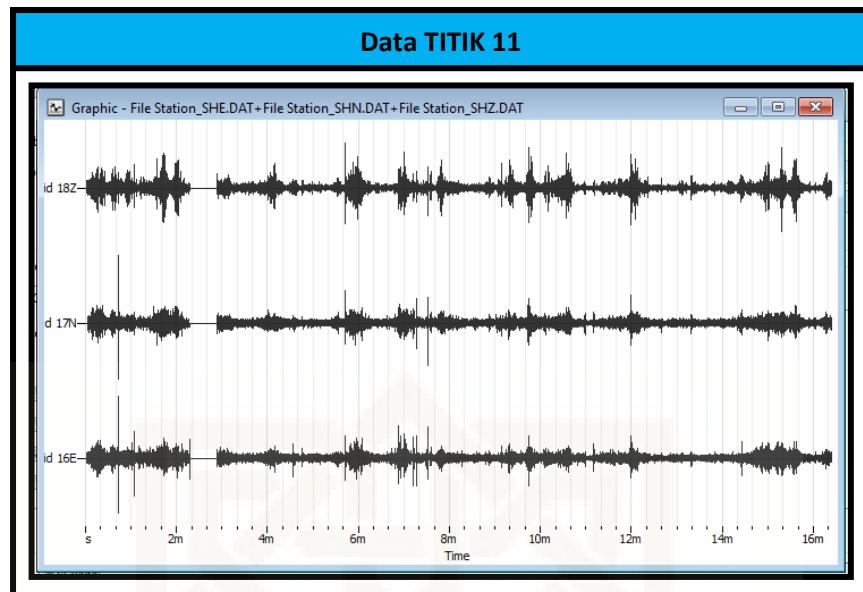


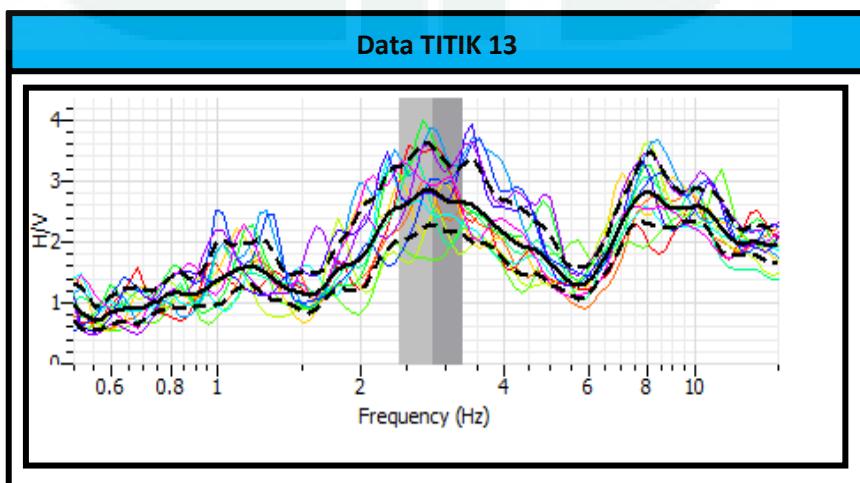
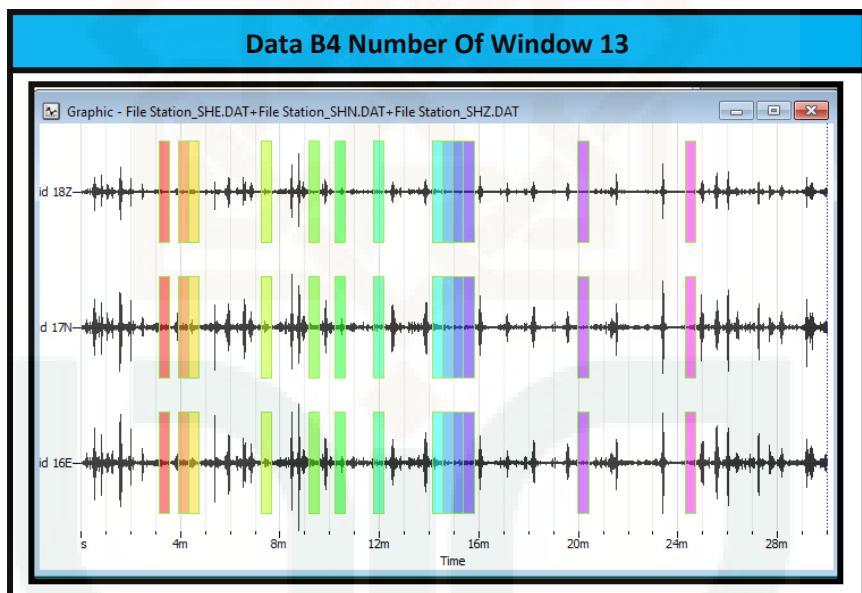
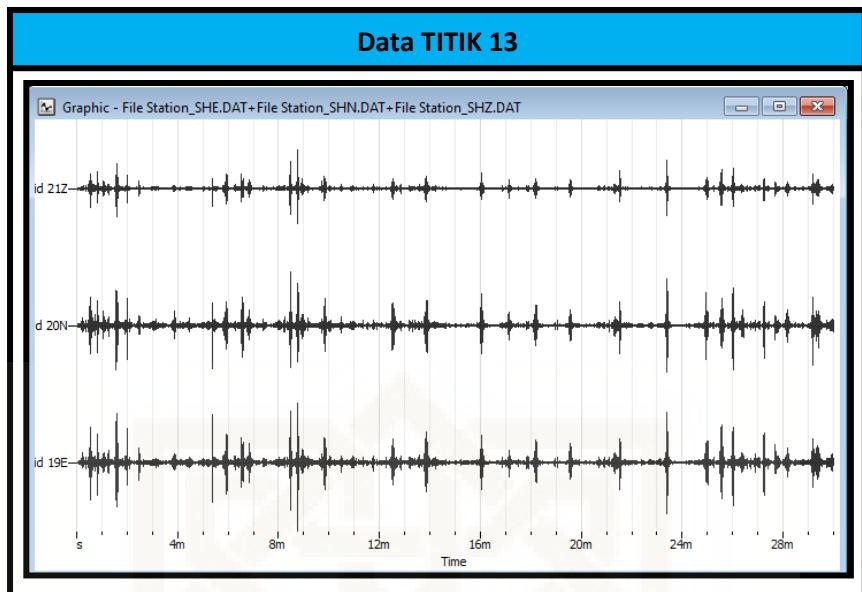


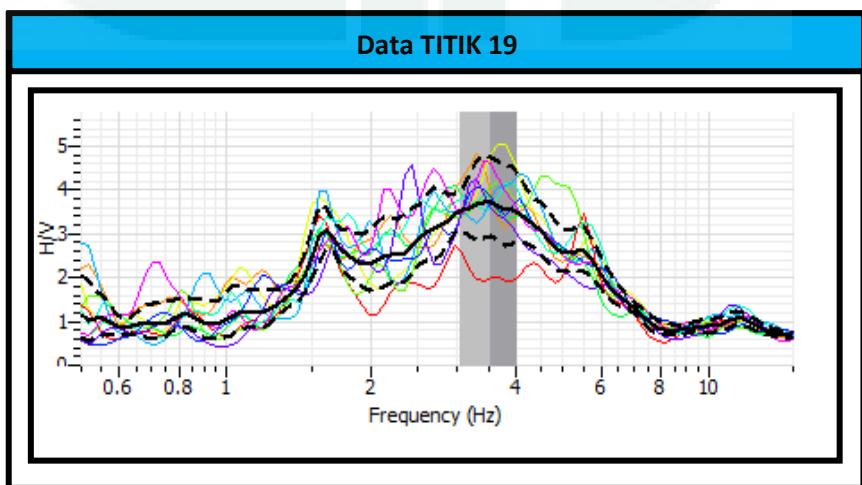
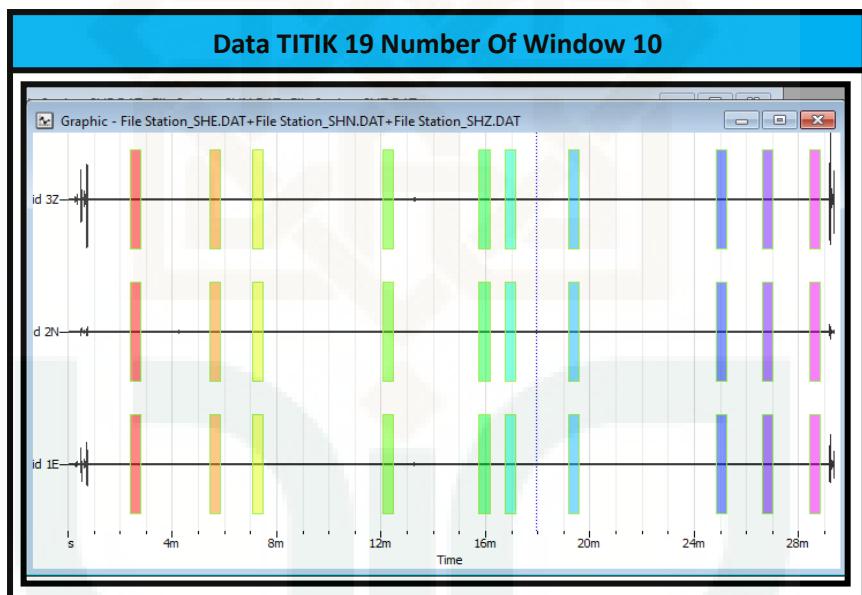
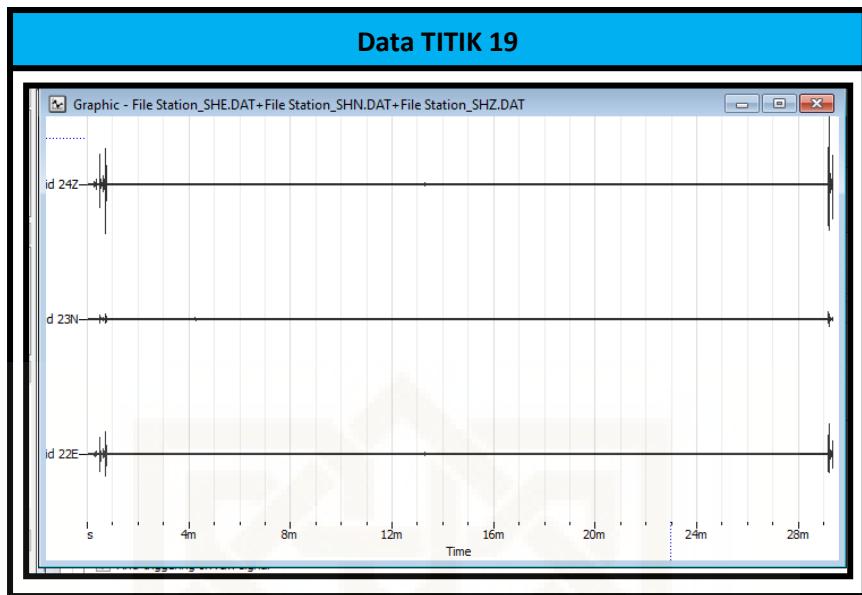


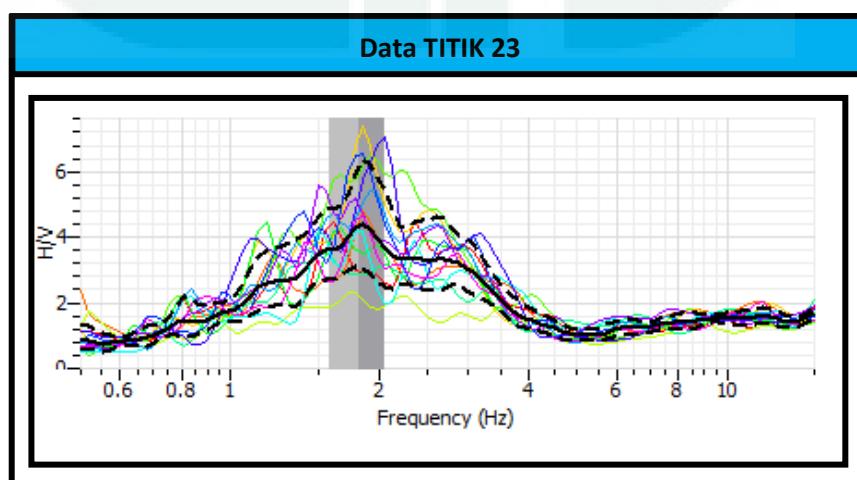
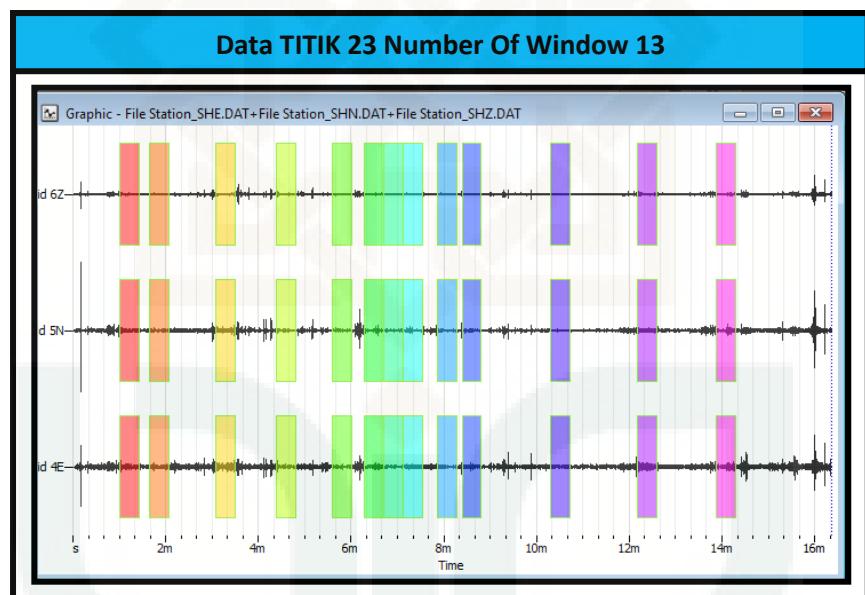
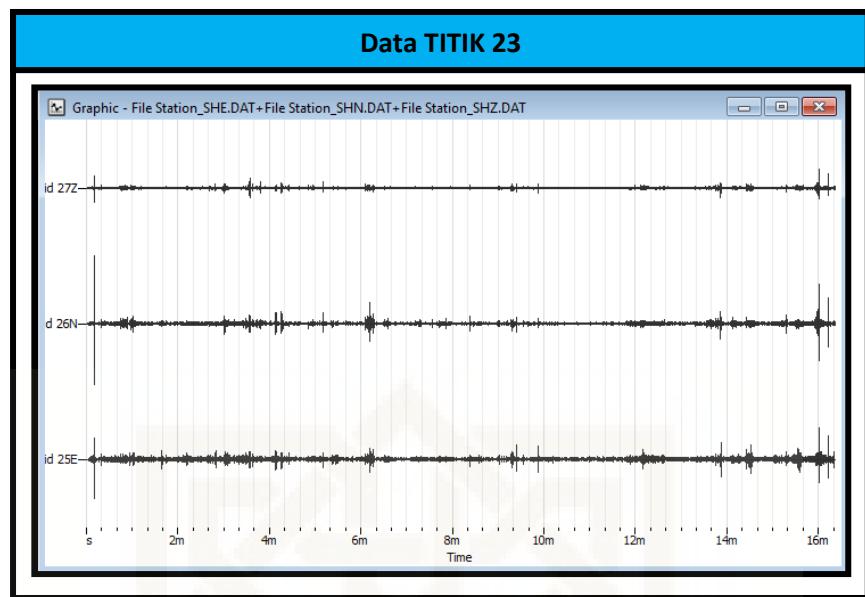


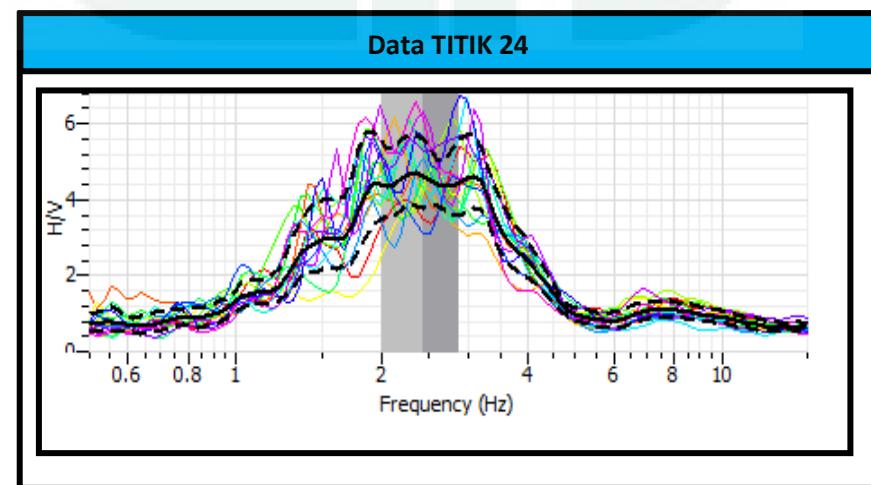
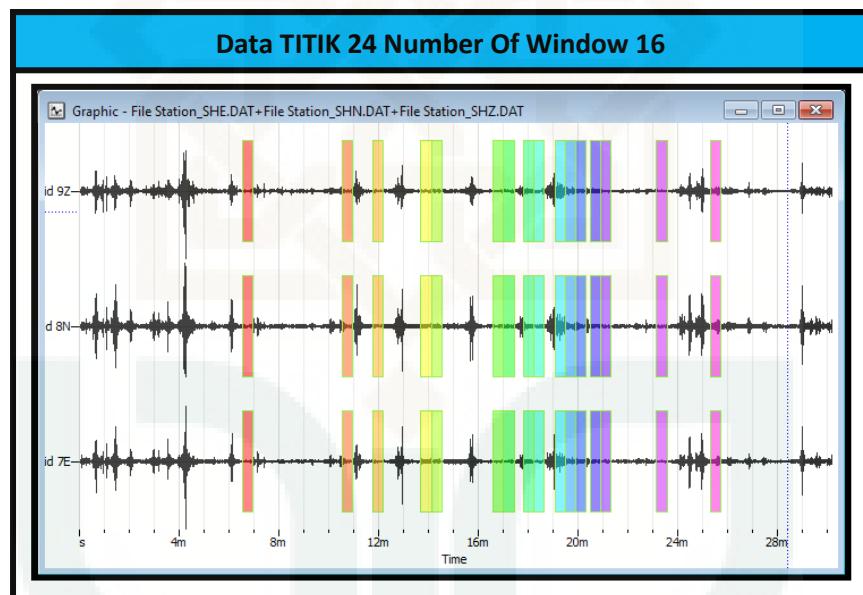
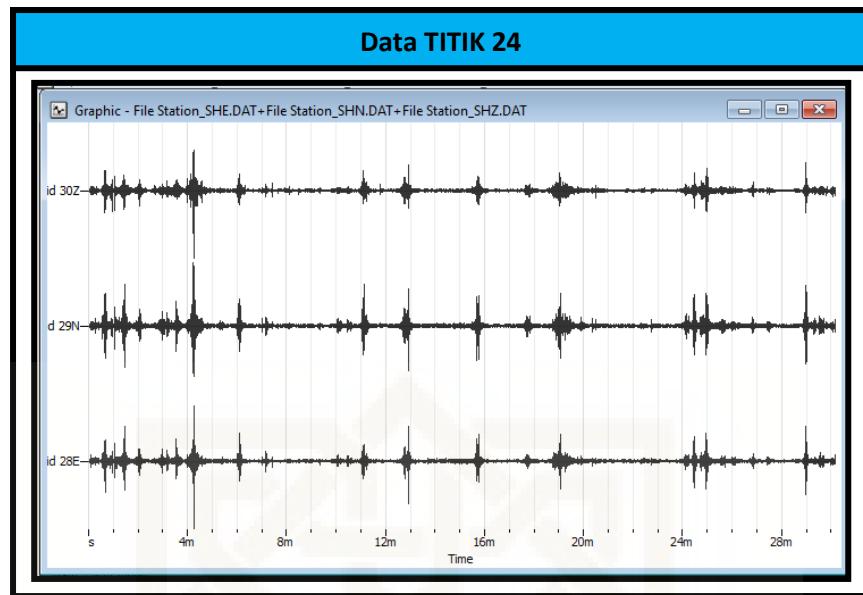


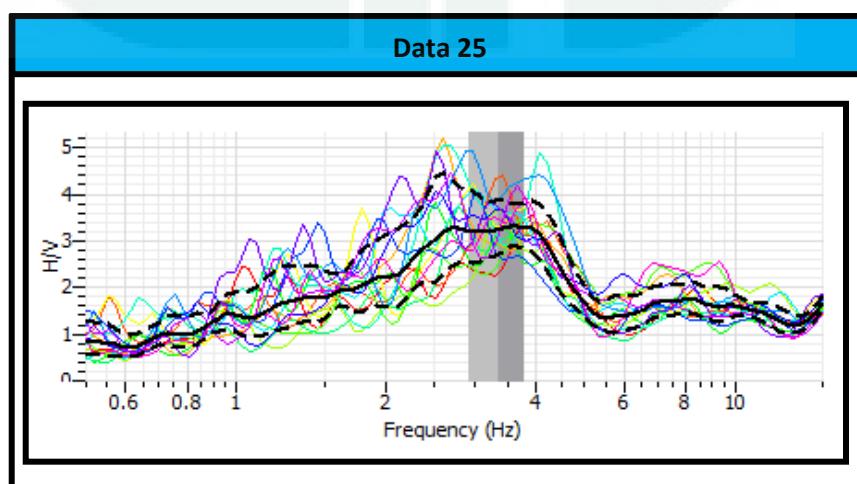
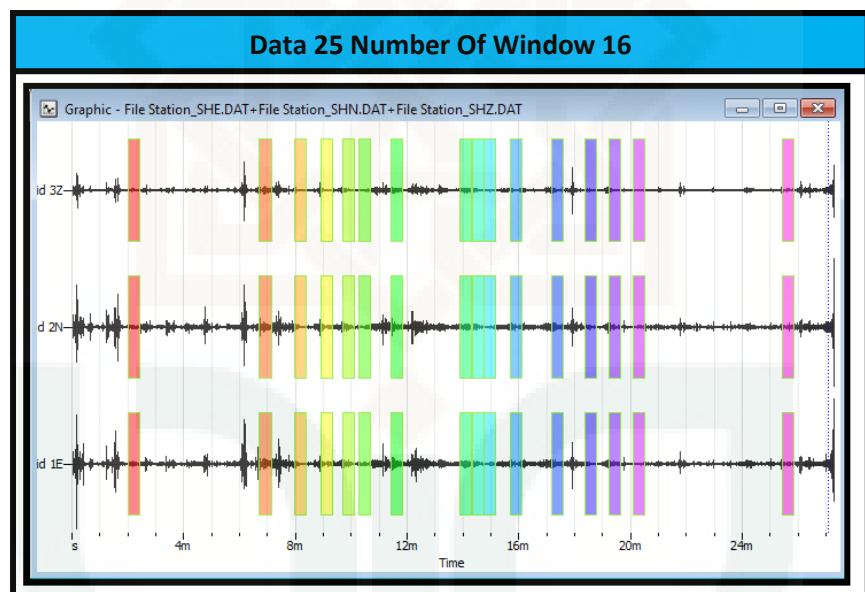
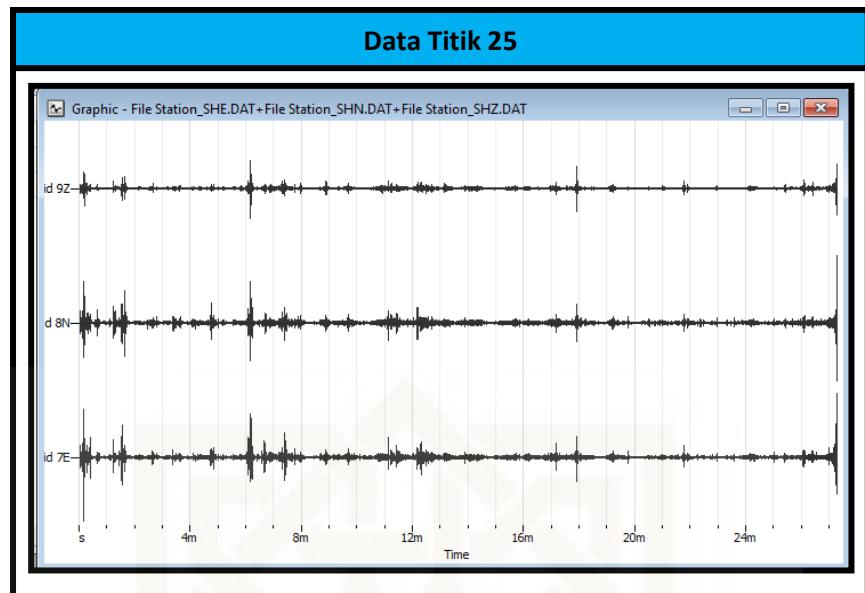


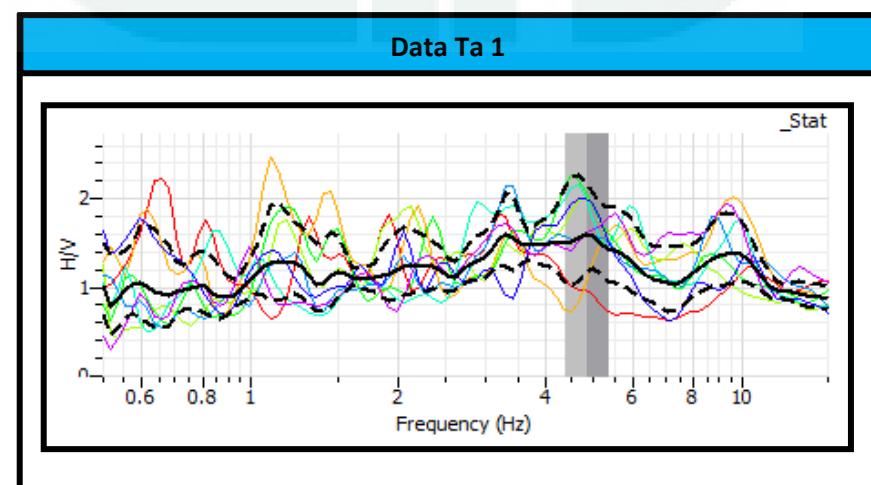
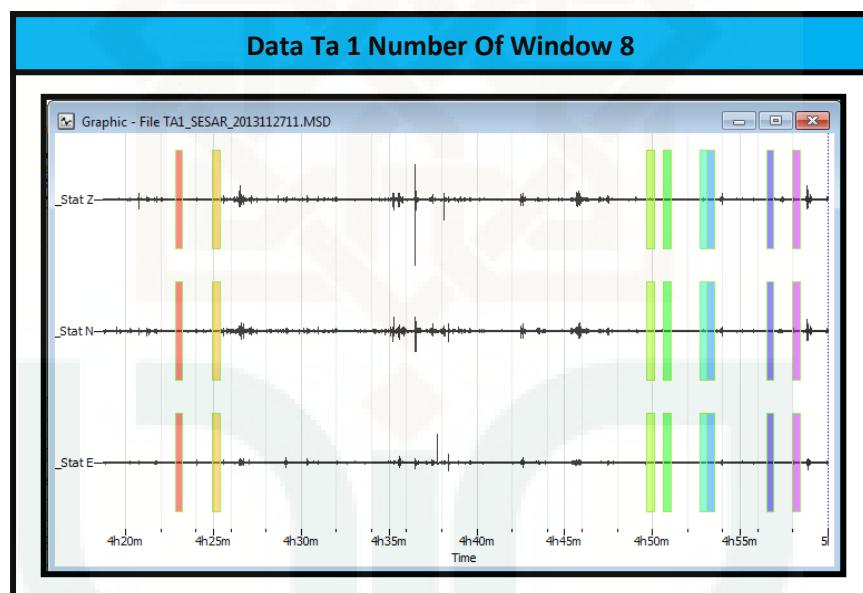
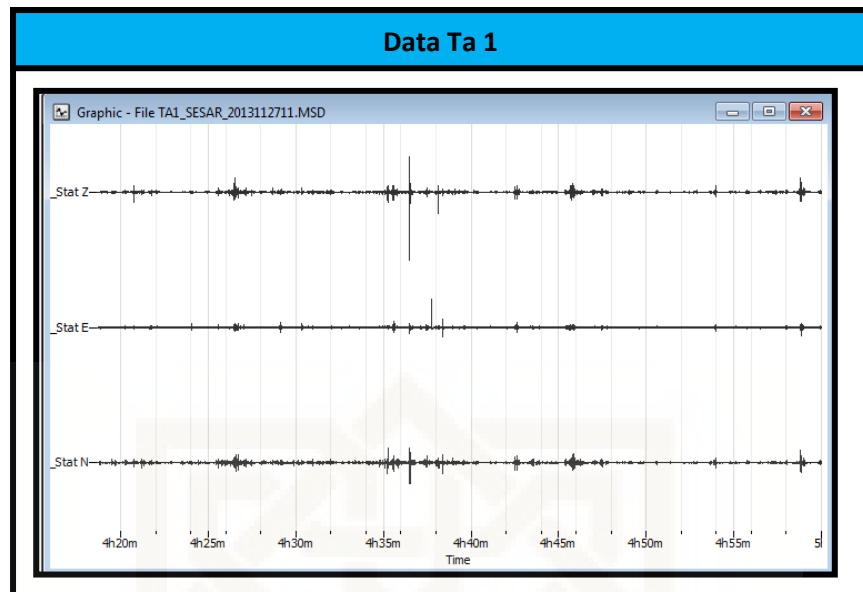


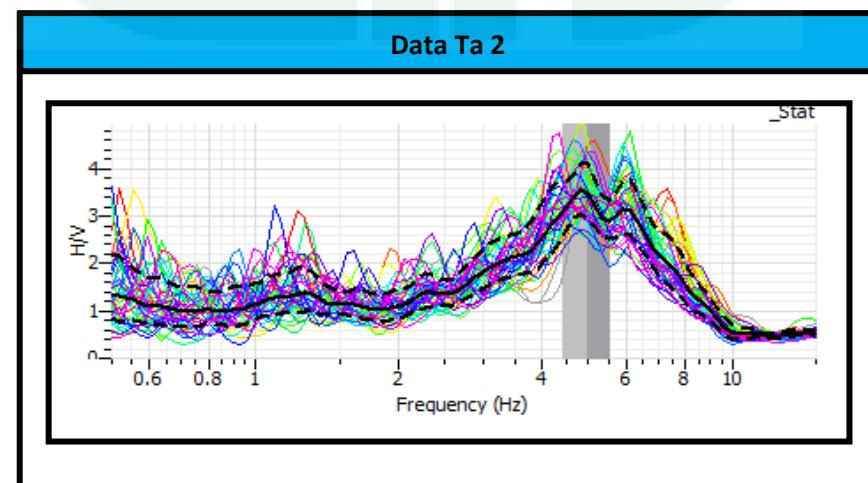
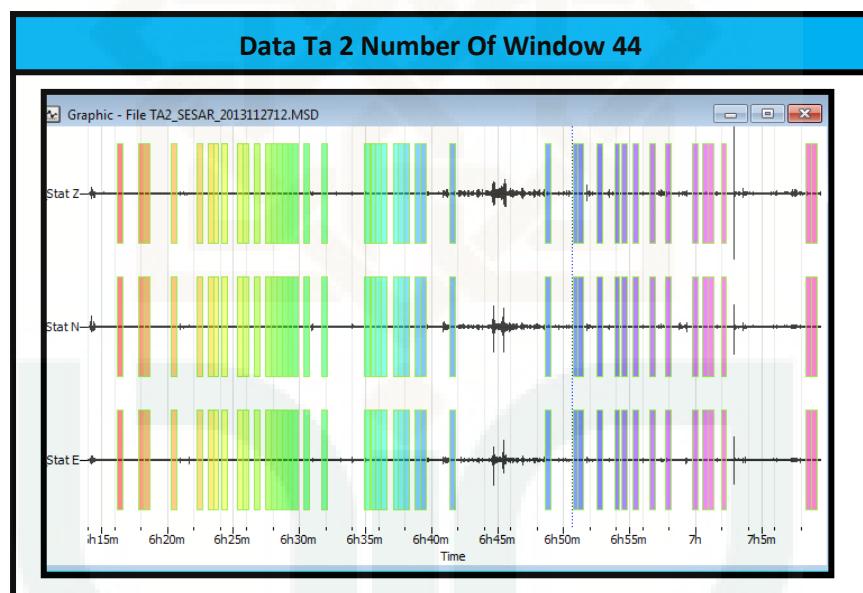
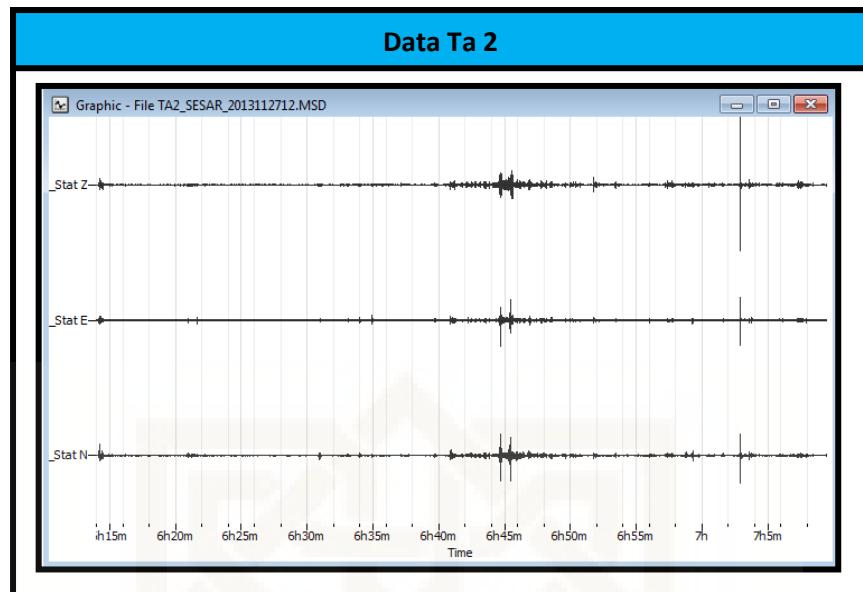


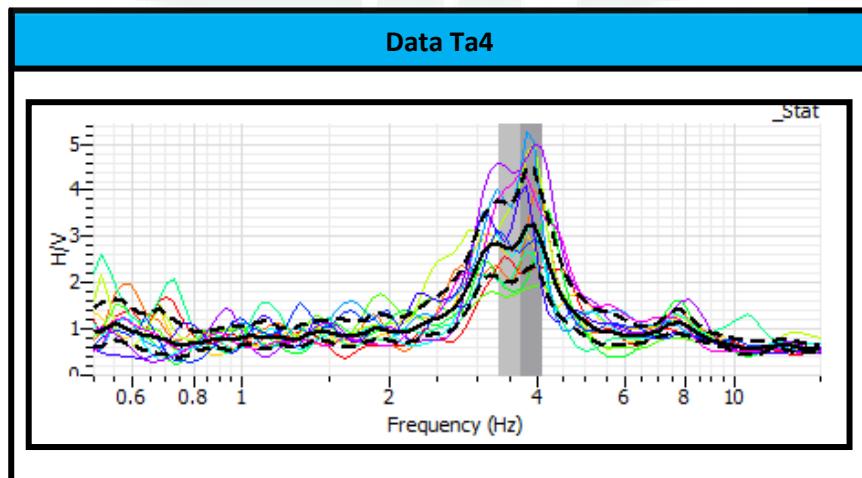
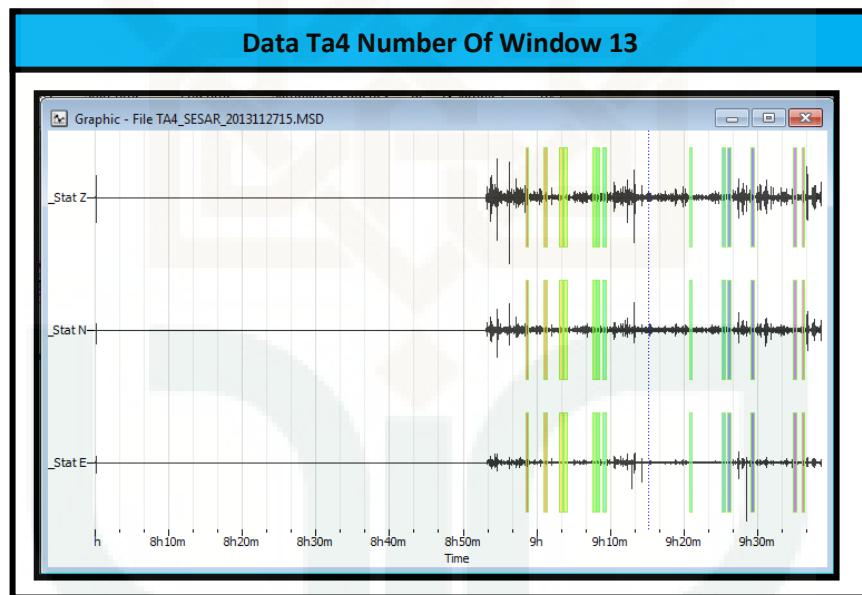
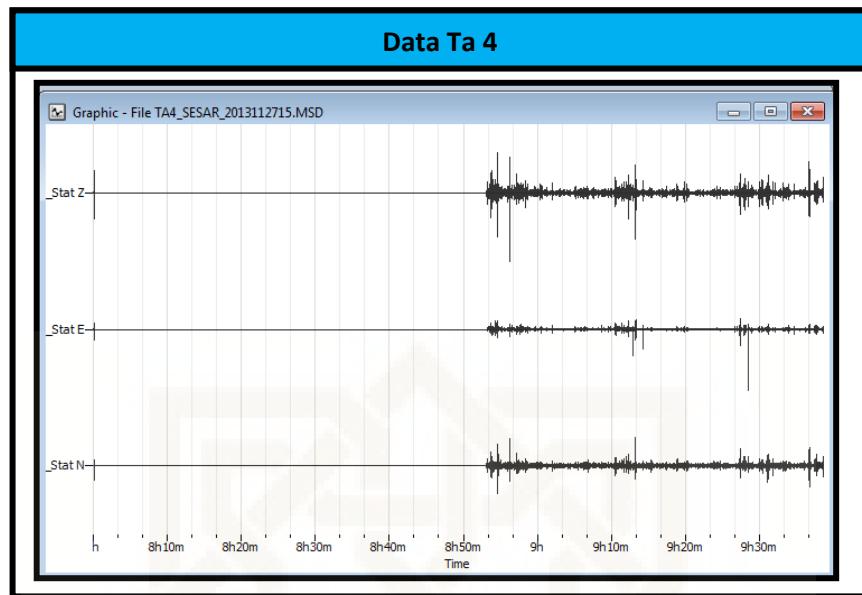


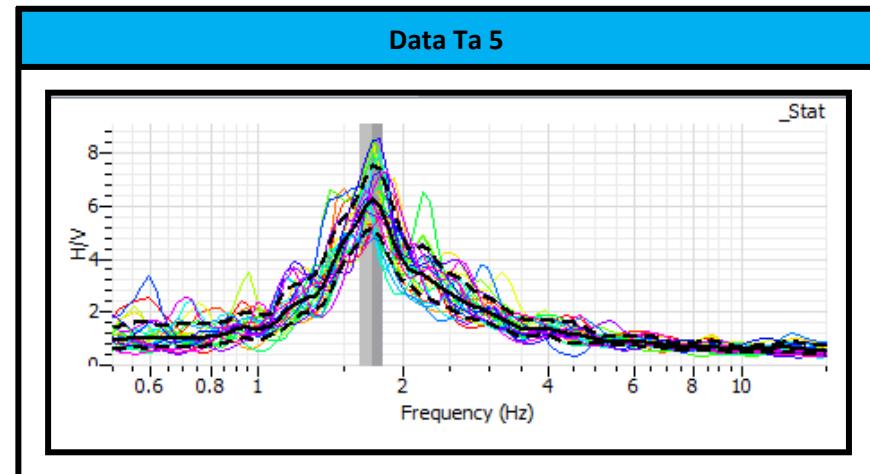
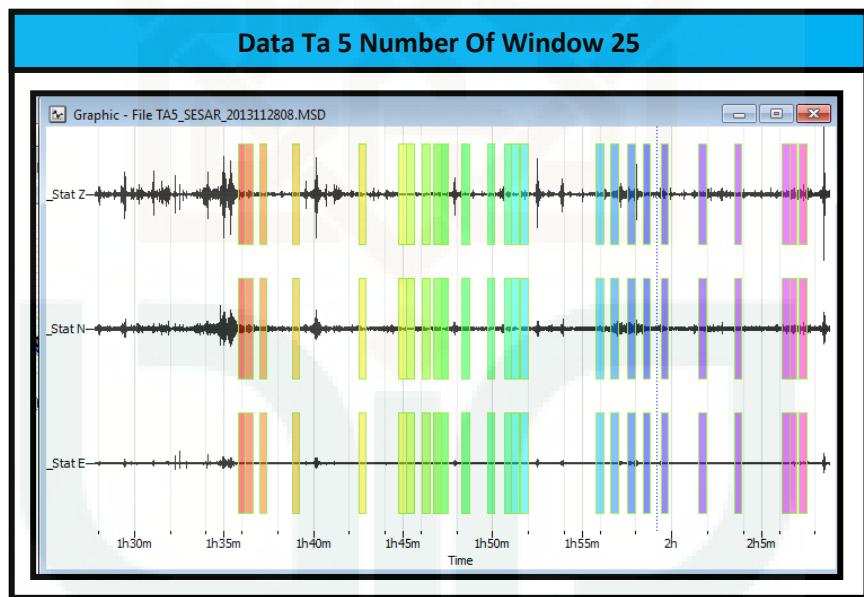
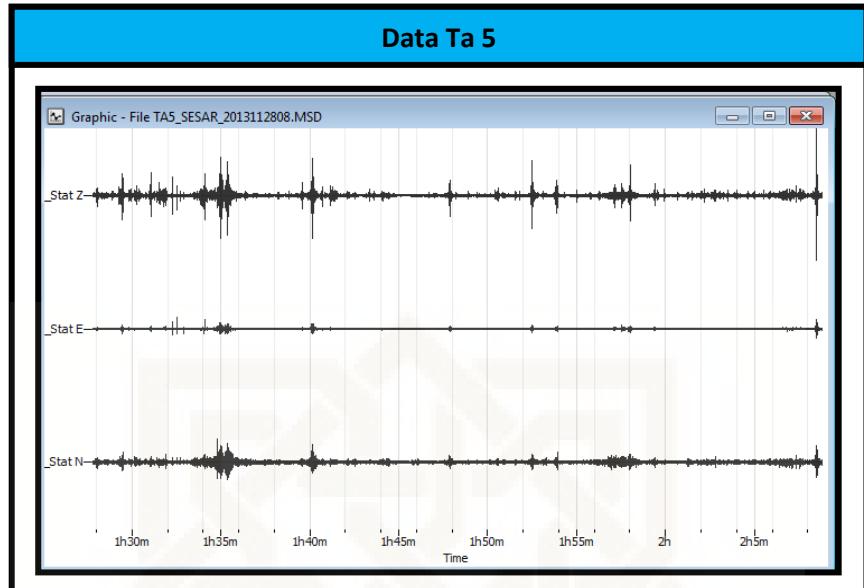


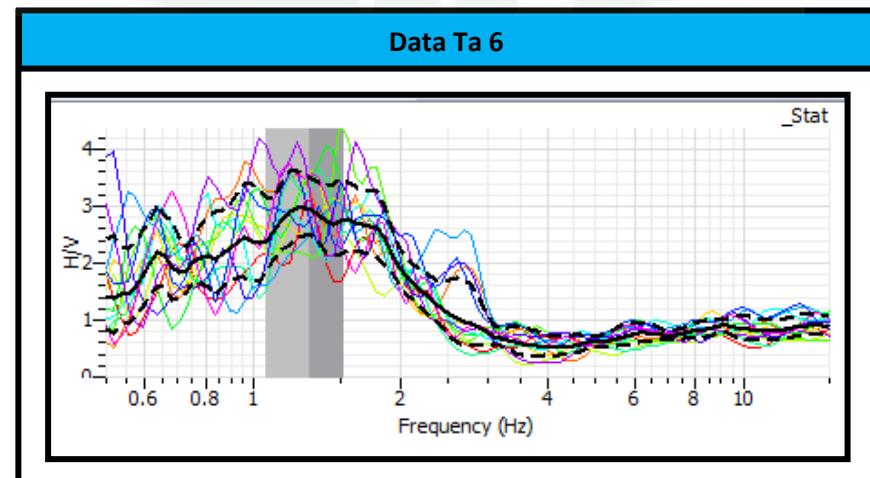
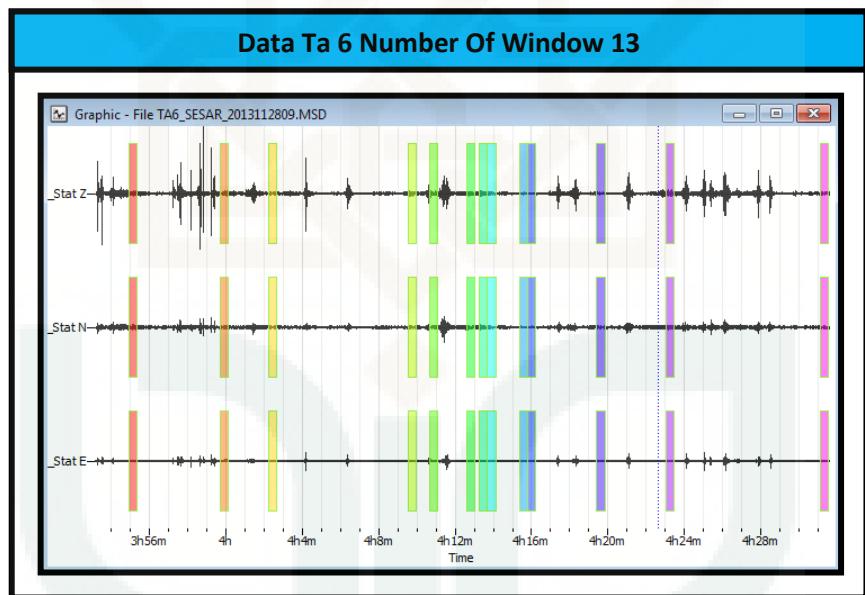
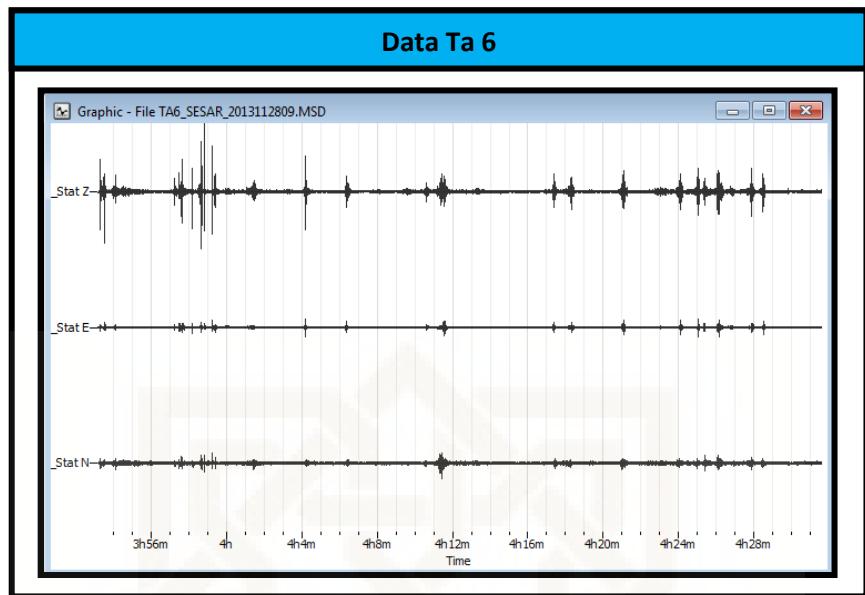


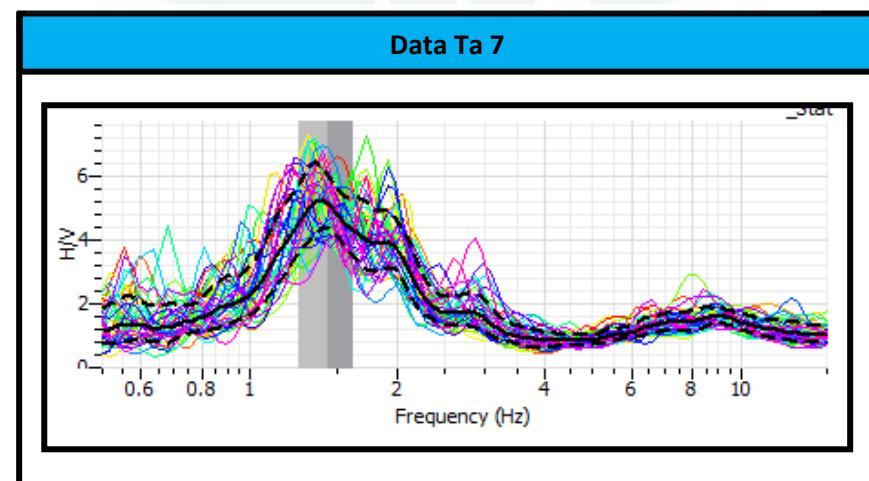
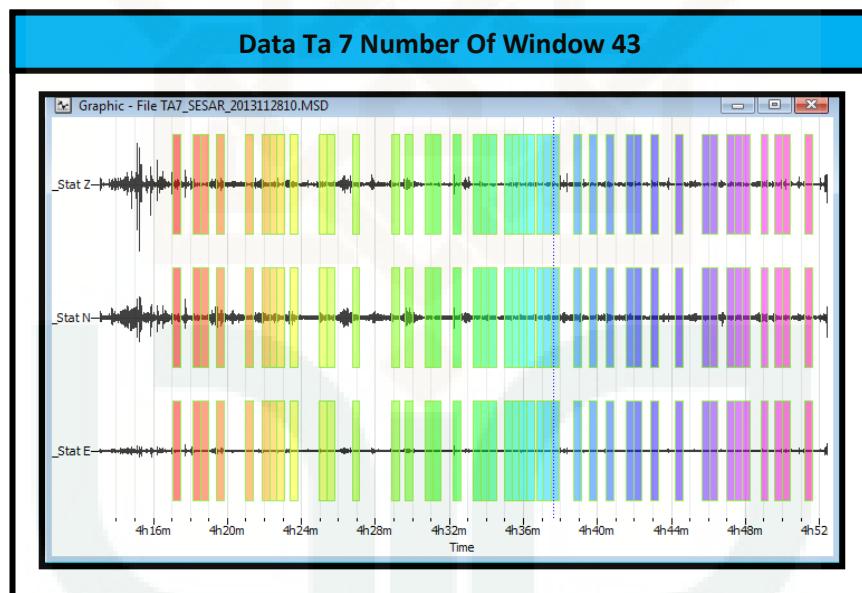
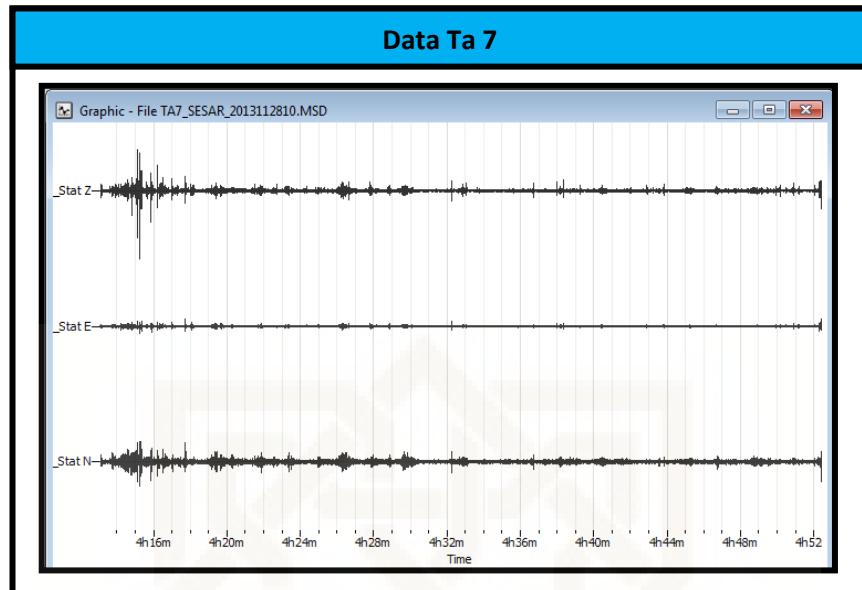


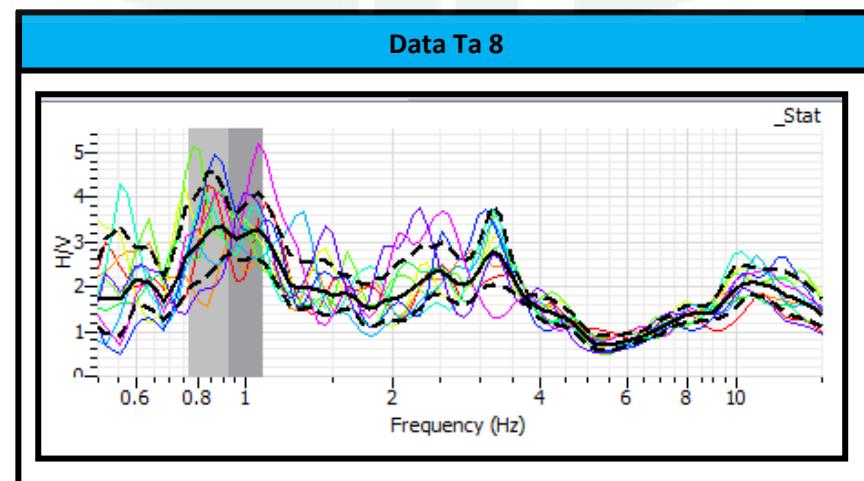
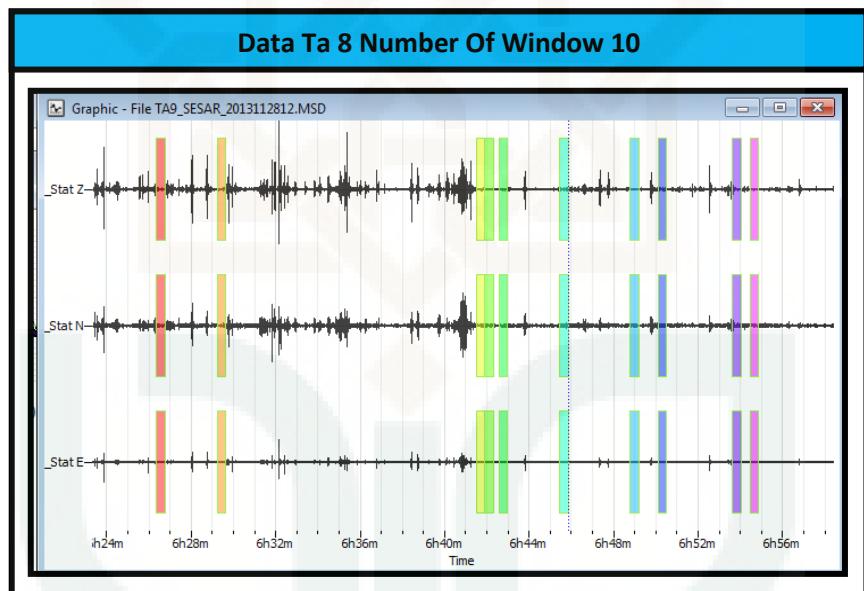
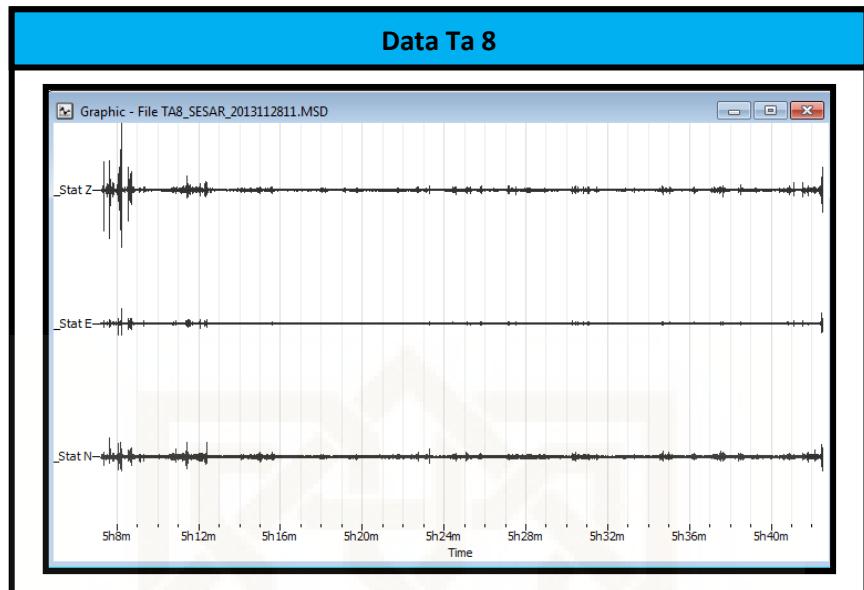


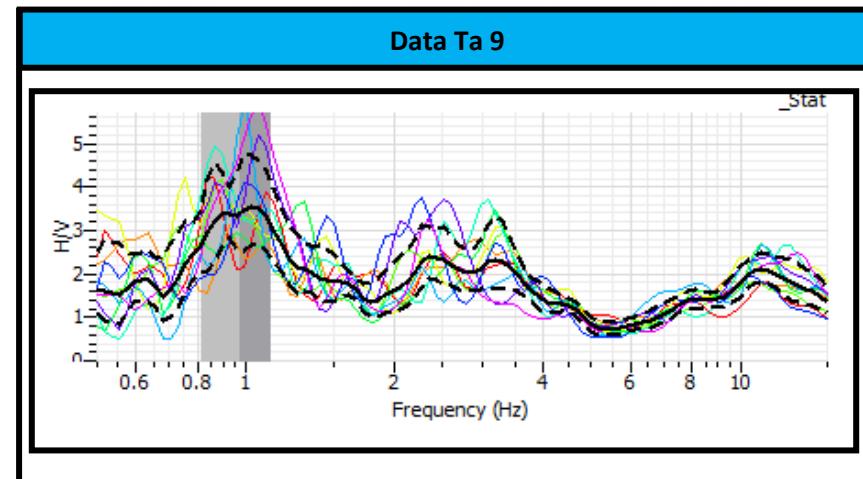
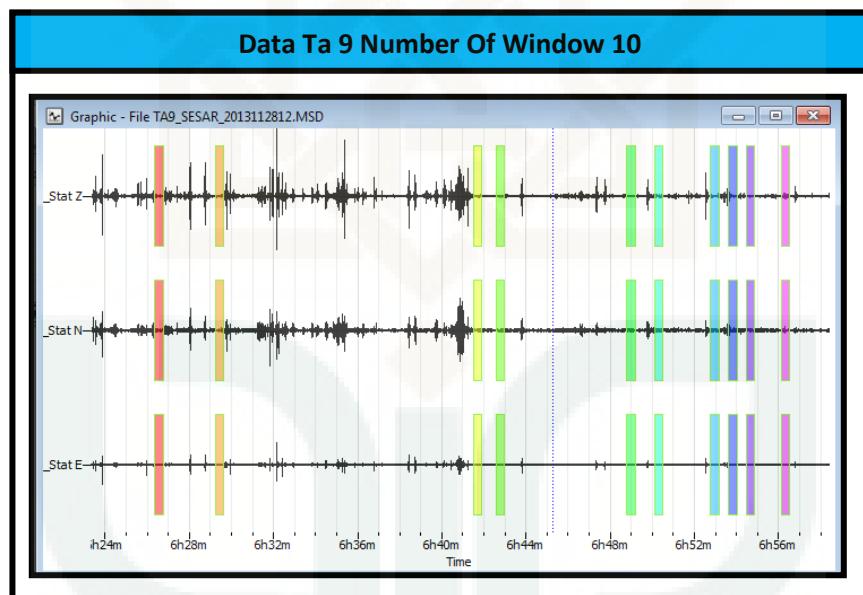
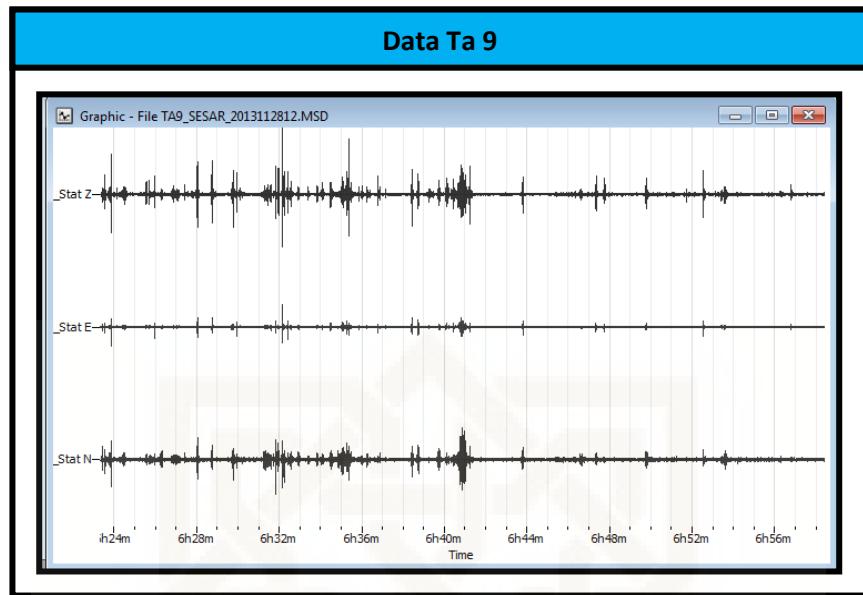


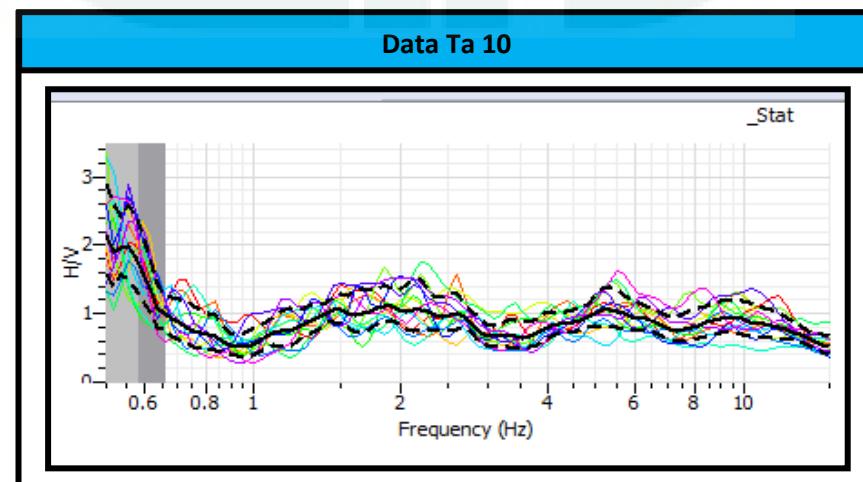
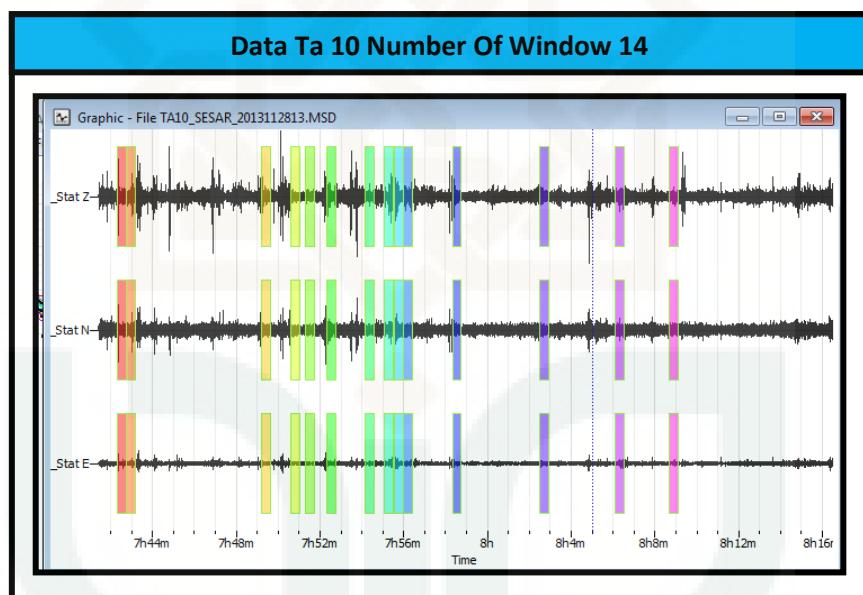
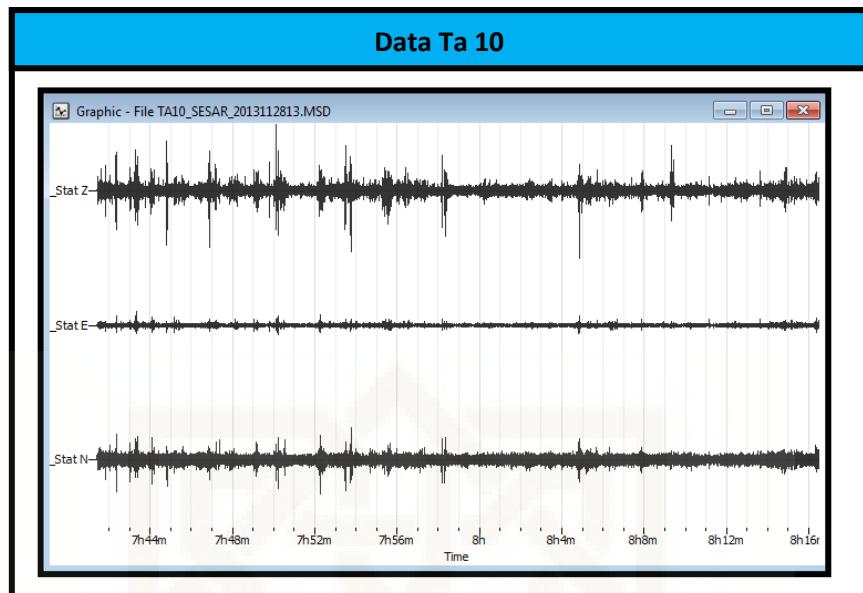


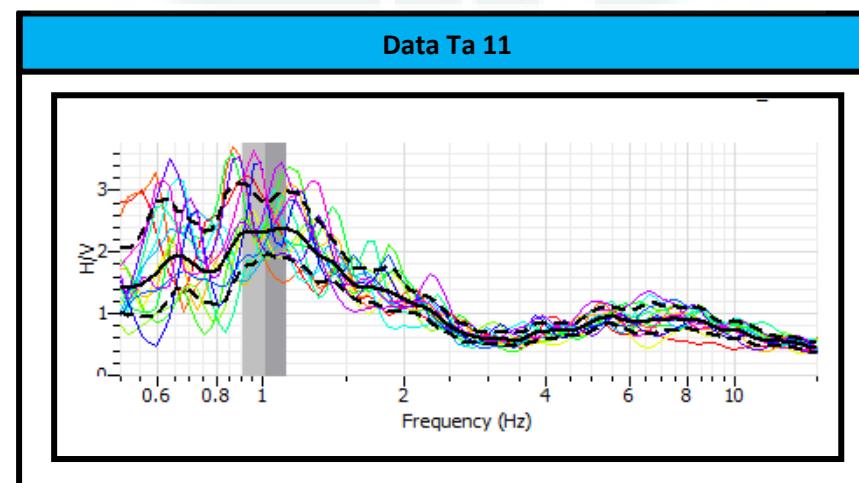
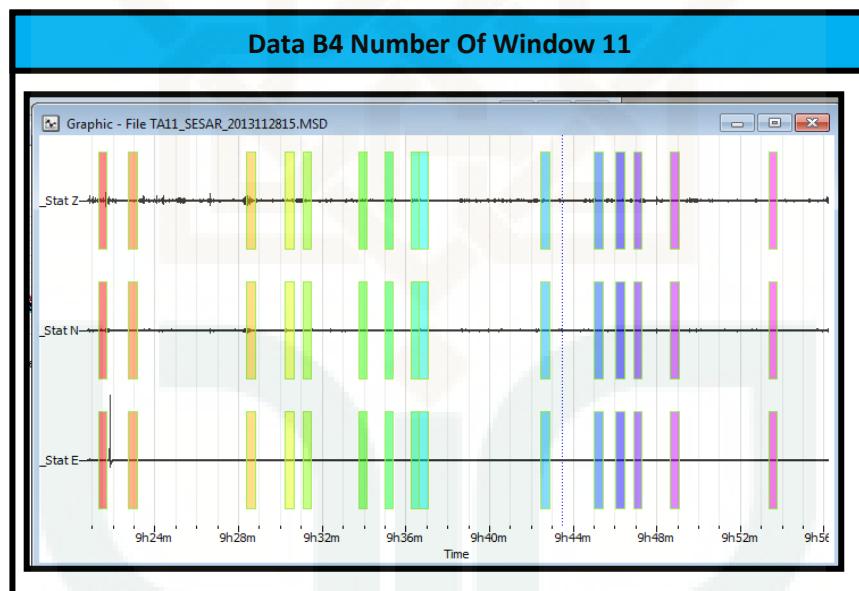
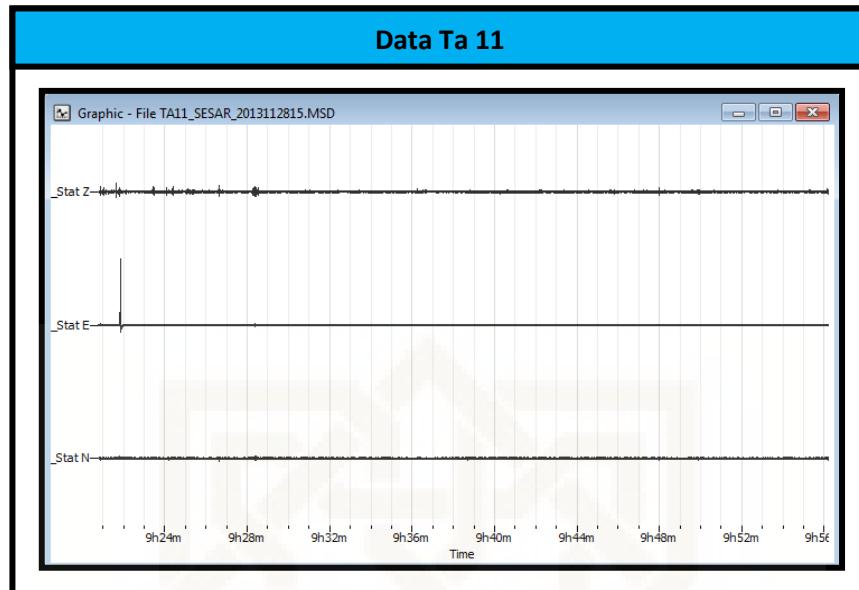


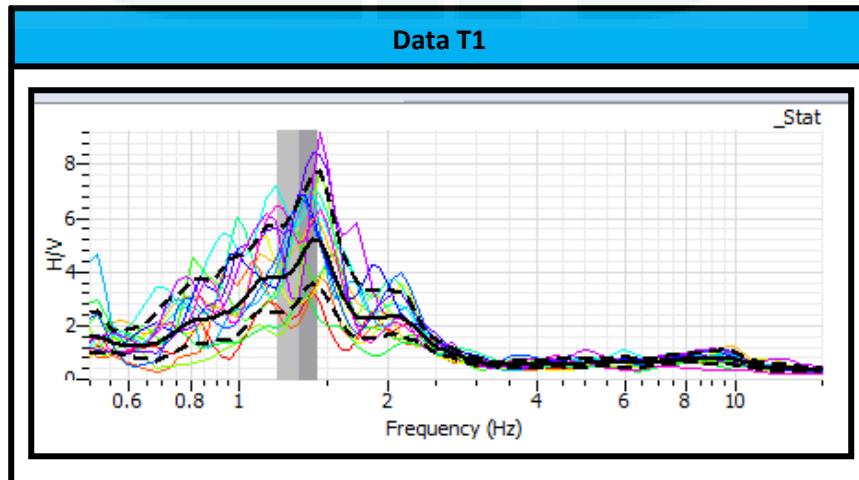
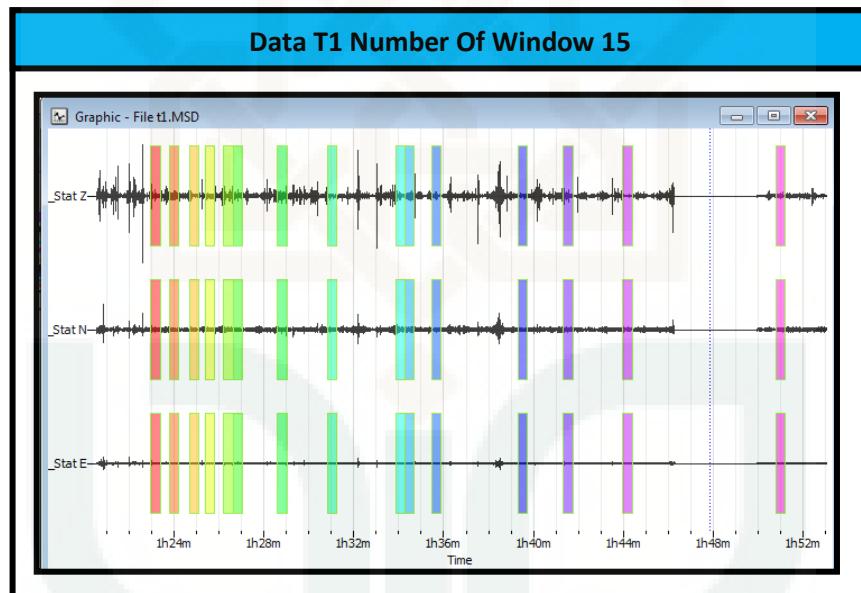
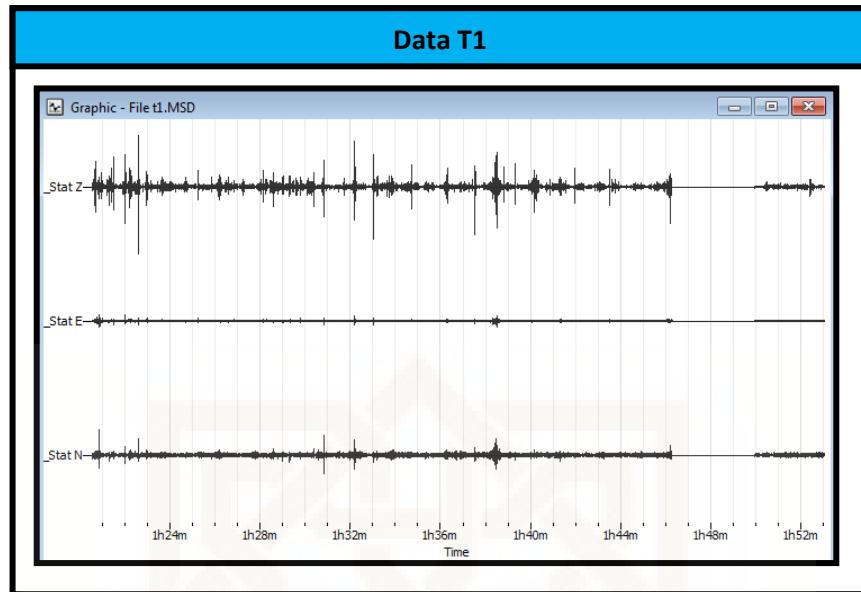


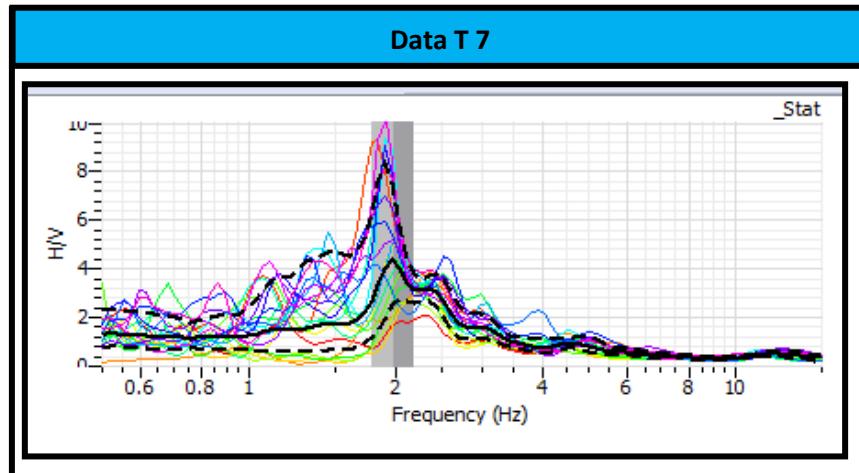
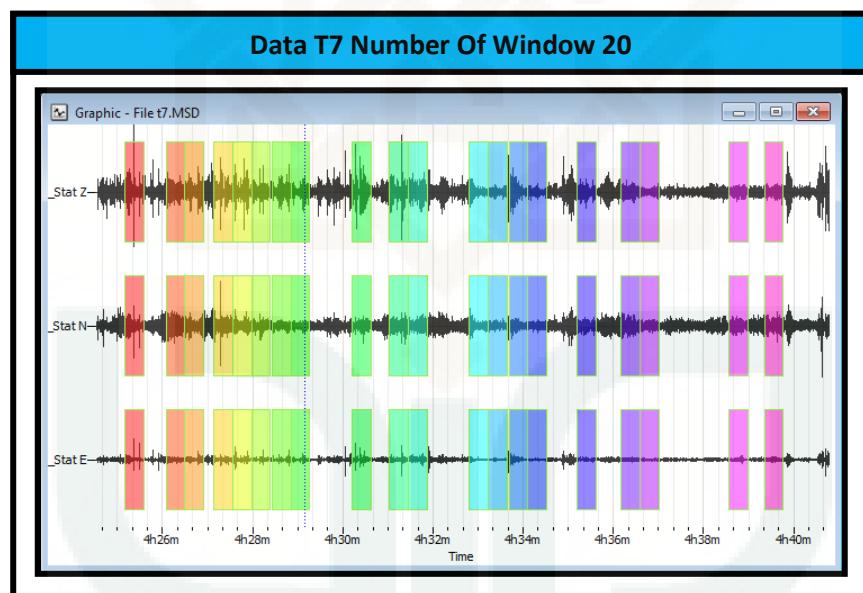
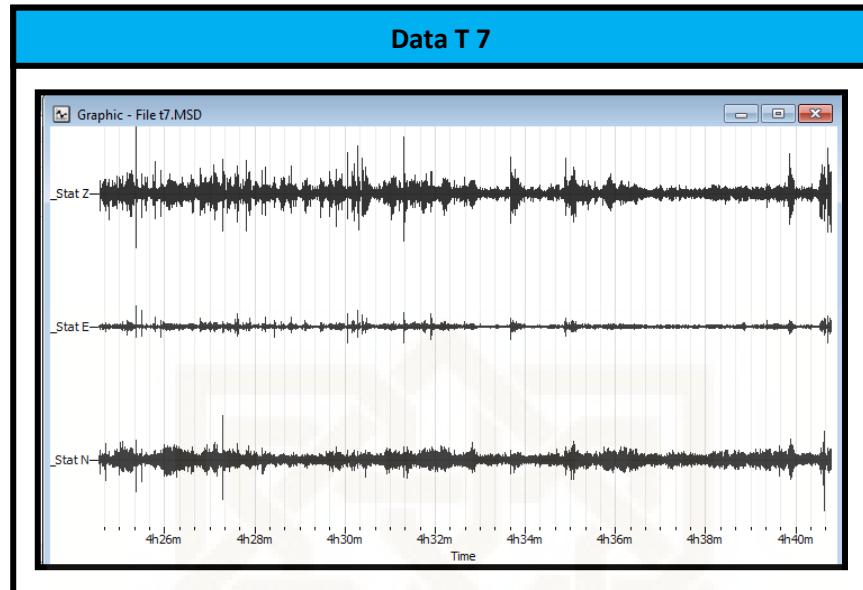












LAMPIRAN 2

PERHITUNGAN

Perhitungan Parameter Delta (Δ) pada titik B1

$$\Delta = \sqrt{\left((Long_{gempa} - Long_{penelitian})^2 + (Lat_{gempa} - Lat_{penelitian})^2 \times 111,322 \right)}$$
$$\Delta = \sqrt{\left((110,5 - 110,3856889)^2 + (-8 - (-7,89))^2 \times 111,322 \right)}$$

$$\Delta = 17,62898009$$

Perhitungan Jarak Hiposenter (R) Tanah B1

$$R = \sqrt{(\Delta + h)^2}$$

$$R = \sqrt{(17,62898009 + 33)^2}$$

$$R = 37,41364643$$

Perhitungan Periode Dominan Tanah B1

$$T = \frac{1}{f}$$

$$T = \frac{1}{1,558}$$

$$T = 0,641849$$

T = Periode Dominan Tanah

f = frekuensi dominan tanah

Perhitungan T dan Q pada Inputan PGA Kannai

$$T = a_3 + a_4/R$$

$$T = 1,66 + 3,60/37.41364643$$

$$T = 1,756222$$

$$Q = a_5 + a_6/R$$

$$Q = 0,167 + \left(\frac{-1,83}{37,41364643} \right)$$

$$Q = 0,118087$$

Perhitungan Percepatan Getaran Maksimum (PGA) Pada B1 :

$$a_1 = 5, a_2 = 0,61, a_3 = 1,66, a_4 = 3,60, a_5 = 0,167 \text{ dan } a_6 = -1,83$$

$$a = \frac{a_1}{\sqrt{T_G}} 10^{a_2 M} - P \log_{10}^{R+Q}$$

$$a_1 = 5, a_2 = 0.61, a_3 = 1.66, a_4 = 3.60, a_5 = 0.167 \text{ dan } a_6 = -1.83$$

$$a = \frac{5}{\sqrt{0,641849}} 10^{0,61 \cdot 5,9 - \left(1,66 + \frac{3,6}{37,41364643} \right) \log 37,41364643 + 0,167 - \frac{1,33}{37,41364643}}$$

$$a = 140,1791909 \text{ Gal}$$

LAMPIRAN 3
Perhitungan Data 2006

Latitude	Longitude	Kedalaman	M	ID Gempa	Delta	R	Longitude	Latitude mines	f0	T	P	Q	PGA
-8	110,5	33	5,9	G2006	17,62898009	37,41364643	110,3856889	-7,890405556	1,558	0,641849	1,756222	0,118087	140,1791909
-8	110,5	33	5,9		16,9378843	37,09301719	110,3878056	-7,897225	2,69197	0,371475	1,757053	0,117665	184,2922468
-8	110,5	33	5,9		17,18247724	37,20534268	110,3873139	-7,894522222	7,54541	0,132531	1,75676	0,117814	308,52335
-8	110,5	33	5,9		18,25016014	37,71032147	110,3736639	-7,895522222	3,73514	0,267728	1,755465	0,118472	217,0136531
-8	110,5	33	5,9		16,86473687	37,05967282	110,3728111	-7,917697222	3,04325	0,328596	1,757141	0,11762	195,9513722
-8	110,5	33	5,9		17,56107476	37,38169802	110,3605361	-7,926277778	3,12898	0,319593	1,756304	0,118046	198,6590601
-8	110,5	33	5,9		18,69139145	37,92582385	110,3530611	-7,918755556	1,89313	0,528226	1,754922	0,118748	154,481352
-8	110,5	33	5,9		17,58133986	37,39122238	110,3539889	-7,939805556	2,69513	0,37104	1,756279	0,118058	184,3718896
-8	110,5	33	5,9		18,51244131	37,8379503	110,3649222	-7,903002778	4,05266	0,246752	1,755143	0,118636	226,0348352
-8	110,5	33	5,9		18,04689246	37,61236934	110,3433806	-7,95815	4,33415	0,230726	1,755713	0,118346	233,7800175
-8	110,5	33	5,9		16,75419592	37,00949988	110,3751972	-7,915886111	7,3955	0,135217	1,757272	0,117553	305,4742574
-8	110,5	33	5,9		16,62534435	36,9513474	110,3761306	-7,916572222	4,56389	0,219111	1,757425	0,117475	239,9780991
-8	110,5	33	5,9		17,12099329	37,17698766	110,3509806	-7,961963889	3,39396	0,294641	1,756834	0,117776	206,9218565
-8	110,5	33	5,9		17,89147489	37,53804569	110,3394028	-8,006236111	3,09848	0,322739	1,755903	0,118249	197,672542
-8	110,5	33	5,9		23,07880487	40,26948267	110,29315	-8,013888889	2,94529	0,339525	1,749398	0,121556	192,4628345
-8	110,5	33	5,9		21,10460594	39,17147421	110,3112278	-7,9825	6,09286	0,164127	1,751904	0,120282	276,9653382
-8	110,5	33	5,9		23,85927393	40,72179947	110,2857528	-7,994163889	4,25686	0,234915	1,748405	0,122061	231,3309647
-8	110,5	33	5,9		22,68171907	40,04323139	110,2984222	-7,970336111	3,00334	0,332963	1,749903	0,121299	194,3714097
-8	110,5	33	5,9		22,5998885	39,99693689	110,2975806	-7,984477778	4,58052	0,218316	1,750007	0,121246	240,047526
-8	110,5	33	5,9		19,64059608	38,40251313	110,3318722	-7,946513889	3,11543	0,320983	1,753744	0,119347	198,1253783
-8	110,5	33	5,9		18,64163206	37,90132512	110,3420183	-7,94447	2,66876	0,374706	1,754983	0,118717	183,4197174
-8	110,5	33	5,9		18,42256473	37,79405894	110,3509383	-7,928116667	3,27101	0,305716	1,755253	0,11858	203,0747637
-8	110,5	33	5,9		18,02147061	37,60017823	110,3589778	-7,920502778	2,86612	0,348904	1,755744	0,11833	190,1101569
-8	110,5	33	5,9		18,54142635	37,85213985	110,3594944	-7,910561111	3,73003	0,268094	1,755107	0,118654	216,8494422
-8	110,5	33	5,9		15,7986353	36,58684022	110,3683083	-7,947102778	4,39862	0,227344	1,758396	0,116982	235,6379921
-8	110,5	33	5,9		16,17118147	36,74924639	110,3693694	-7,936458333	4,77	0,209644	1,757961	0,117203	245,3630551
-8	110,5	33	5,9		16,16129067	36,7448951	110,3741	-7,927713889	3,25991	0,306757	1,757973	0,117197	202,8400824
-8	110,5	33	5,9		19,63640598	38,40037031	110,324095	-7,98689	1,59165	0,628279	1,753749	0,119344	141,6137309
-8	110,5	33	5,9		19,33723174	38,24824874	110,3264722	-7,992147222	3,54346	0,28221	1,754122	0,119155	211,3141748
-8	110,5	33	5,9		19,5541691	38,35838278	110,3248467	-7,986745	1,54634	0,646688	1,753852	0,119292	139,5864451
-8	110,5	33	5,9		17,58330583	37,39214682	110,3436861	-7,977325	3,27013	0,305798	1,756277	0,118059	203,0893498
-8	110,5	33	5,9		16,79336859	37,02724981	110,3525833	-7,967980556	6,2735	0,159401	1,757226	0,117577	281,3466705
-8	110,5	33	5,9		20,06161386	38,61953328	110,3229528	-7,966372222	2,98315	0,335216	1,753217	0,119615	193,8524955
-8	110,5	33	5,9		18,72116277	37,94050521	110,3337639	-7,974561111	5,25474	0,190304	1,754885	0,118767	257,3701728
-8	110,5	33	5,9		18,02364986	37,60122278	110,3436444	-7,957972222	3,33236	0,300088	1,755742	0,118331	204,9905586
-8	110,5	33	5,9		18,88217994	38,02021461	110,3376083	-7,951019444	3,55503	0,281292	1,754686	0,118868	211,6833194
-8	110,5	33	5,9		23,18312514	40,32936016	110,2917472	-7,999838889	1,97383	0,506629	1,749265	0,121624	157,5524815
-8	110,5	33	5,9		22,05464028	39,69139904	110,3021139	-8,009536111	2,35543	0,424551	1,7507	0,120894	172,1627908
-8	110,5	33	5,9		21,71714132	39,50486334	110,304916	-8,000031	5,23584	0,190991	1,751128	0,120677	256,7065219
-8	110,5	33	5,9		20,53667501	38,86843218	110,315681	-7,992296	4,35491	0,229626	1,75262	0,119918	234,1906549

LAMPIRAN 4

NO	Stasiun	Koordinat Geographic		Koordinat UTM		fo	Ao	Defiasi	lw (s)	nw	Criteria		
		Long	Lat	X	Y						fo>10/lw	nc(fo)>200	(D<2 if fo>0,5 Hz) & (D<3 if fo<0,5 Hz)
1	b1	110°23'8.48"E	7°53'25.46"S	432283,4	9127823	1,558	3,41	0,3	25	10	OK	OK	OK
2	b2	110°23'16.10"E	7°53'50.01"S	432517,5	9127070	2,69197	4,93867	0,4	25	15	OK	OK	OK
3	b3	110°23'14.33"E	7°53'40.28"S	432463,2	9127368	7,54541	4,58417	2,7	25	11	OK	OK	NO
4	b4	110°22'25.19"E	7°53'48.88"S	430958,8	9127256	3,73514	1,90927	0,8	25	11	OK	OK	OK
5	b5	110°22'22.12"E	7°55'3.71"S	430868,3	9124804	3,04325	1,45045	0,2	25	10	OK	OK	OK
6	b6	110°21'37.93"E	7°55'34.60"S	429516,6	9123854	3,12898	2,78606	0,5	25	11	OK	OK	OK
7	b7	110°21'11.02"E	7°55'7.52"S	428691,2	9124684	1,89313	3,54351	1	25	12	OK	OK	OK
8	b8	110°21'14.36"E	7°56'23.30"S	428797,4	9122357	2,69513	1,90927	0,6	25	10	OK	OK	OK
9	b9	110°21'53.72"E	7°54'10.81"S	429996,3	9126427	4,05266	3,30821	0,6	25	10	OK	OK	OK
10	c1	110°20'36.17"E	7°57'29.34"S	427631,7	9120327	4,33415	2,88344	0,7	25	10	OK	OK	OK
11	c10	110°22'34.07"E	7°54'59.66"S	431233,9	9124929	4,56389	2,88344	0,8	25	10	OK	OK	OK
12	d2	110°21'3.53"E	7°57'43.07"S	428469,9	9119907	3,39396	1,3084	1	25	12	OK	OK	OK
13	d5	110°17'35.34"E	8° 0'50.34"S	422105,8	9114156	2,94529	1,14041	0,2	25	22	OK	OK	OK
14	d6	110°18'40.42"E	7°58'57.01"S	424091,8	9117629	6,09286	1,40147	0,2	25	22	OK	OK	OK
15	d7	110°17'8.71"E	7°59'38.99"S	421286,4	9116335	4,25686	1,60792	0,2	25	18	OK	OK	OK
16	d8	110°17'54.32"E	7°58'13.21"S	422678,5	9118972	3,00334	1,84479	0,6	25	11	OK	OK	OK
17	d9	110°17'51.29"E	7°59'4.12"S	422587,8	9117408	4,58052	0,681167	1,5	25	16	OK	OK	OK
18	titik 1	110°19'54.74"E	7°56'47.45"S	426360,7	9121611	3,11543	2,78606	0,5	25	11	OK	OK	OK
19	titik 04	110°20'31.266"E	7°56'40.092"S	427478,8	9121839	2,66876	1,84479	0,9	25	3	OK	OK	OK
20	titik 11	110°21'3.378"E	7°55'41.22"S	429344,1	9124492	3,27101	3,19648	0,3	25	8	OK	OK	OK
21	titik 13	110°21'32.32"E	7°55'13.81"S	429399,6	9125591	2,86612	2,78606	0,6	25	13	OK	OK	OK
22	titik 19	110°21'34.18"E	7°54'38.02"S	430377,1	9121553	3,73003	3,54351	0,9	25	10	OK	OK	OK
23	titik 23	110°22'5.91"E	7°56'49.57"S	430492,2	9122730	4,39862	1,84479	0,5	25	13	OK	OK	OK
24	titik 24	110°22'9.73"E	7°56'11.25"S	431012,1	9123697	4,77	2,389	0,9	25	16	OK	OK	OK
25	titik 25	110°22'26.76"E	7°55'39.77"S	425511,1	9117146	3,25991	2,78606	0,9	25	16	OK	OK	OK
26	ta 1	110°19'26.742"E	7°59'12.804"S	425773,6	9116566	1,59165	3,30821	1	25	8	OK	OK	OK
27	ta 2	110°19'35.30"E	7°59'31.73"S	425593,5	9117163	3,54346	4,82745	1,1	25	44	OK	OK	OK
28	ta 3	110°19'29.448"E	7°59'12.282"S	427668,7	9118207	1,54634	2,78606	1	25	4	OK	OK	OK
29	ta 4	110°20'37.27"E	7°58'38.37"S	428647,5	9119242	3,27013	3,92821	0,6	25	13	OK	OK	OK
30	ta 5	110°21'9.30"E	7°58'4.73"S	425381,3	9119414	6,2735	1,72228	0,2	25	25	OK	OK	OK
31	ta 6	110°19'22.63"E	7°57'58.94"S	426574,3	9118511	2,98315	1,26422	0,4	25	13	OK	OK	OK
32	ta 7	110°20'1.55"E	7°58'28.42"S	427660,3	9120347	5,25474	1,40147	0,3	25	43	OK	OK	OK
34	ta 11	110°18'7.61"E	8° 0'34.33"S	423400	9115690	2,35543	1,02872	0,4	25	15	OK	OK	OK

LAMPIRAN KE 5

LEMBAR CEKLIST PENGAMBILAN DATA

SESAME HV User Guidelines

20/03/15

MEASUREMENT FIELD SHEET

DATE	HOUR		PLACE	
OPERATOR		GPS TYPE and #		
LATITUDE	LONGITUDE		ALTITUDE	
STATION TYPE	SENSOR TYPE			
STATION #	SENSOR #		DISK #	
FILE NAME			POINT #	
GAIN		SAMPL. FREQ.	Hz	REC. DURATION
				minutes seconds
WEATHER CONDITIONS	WIND <input type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak (3m/s) <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____ RAIN <input type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____ Temperature (approx): _____ Remarks _____			
GROUND TYPE	<input type="checkbox"/> earth <input checked="" type="checkbox"/> hard <input type="checkbox"/> soft <input type="checkbox"/> gravel <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> rock <input type="checkbox"/> grass = <input checked="" type="checkbox"/> short <input type="checkbox"/> tall <input type="checkbox"/> asphalt <input type="checkbox"/> cement <input type="checkbox"/> concrete <input type="checkbox"/> paved <input type="checkbox"/> other _____ <input type="checkbox"/> dry soil <input type="checkbox"/> wet soil Remarks _____			
ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____				
BUILDING DENSITY <input type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> scattered <input type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> other, type _____				
TRANSIENTS	none	few	moderate	many
	very few		very many	very very many
		distance		
MONOCHROMATIC NOISE SOURCES(factories, works, pumps, mills,..) <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____ NEARBY STRUCTURES (trees, poles, buildings, bridges,..) (description, height, distance) (underground structures,..)				
OBSERVATIONS			FREQUENCY: (if computed in the field)	
			Hz	

DATE	HOUR		PLACE	
OPERATOR		GPS TYPE and #		
LATITUDE	LONGITUDE		ALTITUDE	
STATION TYPE	SENSOR TYPE			
STATION #	SENSOR #		DISK #	
FILE NAME			POINT #	
GAIN		SAMPL. FREQ.	Hz	REC. DURATION
				minutes seconds
WEATHER CONDITIONS	WIND <input type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak (3m/s) <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____ RAIN <input type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> weak <input type="checkbox"/> medium <input type="checkbox"/> strong Measurement (if any): _____ Temperature (approx): _____ Remarks _____			
GROUND TYPE	<input type="checkbox"/> earth <input checked="" type="checkbox"/> hard <input type="checkbox"/> soft <input type="checkbox"/> gravel <input type="checkbox"/> sand <input type="checkbox"/> rock <input type="checkbox"/> grass = <input checked="" type="checkbox"/> short <input type="checkbox"/> tall <input type="checkbox"/> asphalt <input type="checkbox"/> cement <input type="checkbox"/> concrete <input type="checkbox"/> paved <input type="checkbox"/> other _____ <input type="checkbox"/> dry soil <input type="checkbox"/> wet soil Remarks _____			
ARTIFICIAL GROUND-SENSOR COUPLING <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____				
BUILDING DENSITY <input type="checkbox"/> none <input type="checkbox"/> scattered <input type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> other, type _____				
TRANSIENTS	none	few	moderate	many
	very few		very many	very very many
		distance		
MONOCHROMATIC NOISE SOURCES(factories, works, pumps, mills,..) <input type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> yes, type _____ NEARBY STRUCTURES (trees, poles, buildings, bridges,..) (description, height, distance) (underground structures,..)				
OBSERVATIONS			FREQUENCY: (if computed in the field)	
			Hz	

Lampiran 6

1. Pengambilan titik B1:

