RESONANSI BANGUNAN DENGAN ANALISIS MIKROTERMOR DI DUSUN PATUK KABUPATEN GUNUNG KIDUL

SKRIPSI

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

Oleh:
PIPIT DARISTASARI
NIM 11306144025

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

2018

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul **"RESONANSI BANGUNAN DENGAN ANALISIS MIKROTERMOR DI DUSUN PATUK KABUPATEN GUNUNG KIDUL"** yang disusun oleh Pipit Daristasari, NIM 11306144025 ini telah. disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.

Yogyakarta, Agustus 2018

Pembimbing I,	Pembimbing II,
Nugroho Budi W, M.Si.	Dr. Yosaphat Sumardi
NIP. 19840223 200801 1 011	NIP. 19510516 197603 1 001

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "Resonansi Bangunan Dengan Analisis Mikrotermor Di Dusun Patuk Kabupaten Gunung Kidul" yang disusun oleh Pipit Daristasari, NIM 11306144025 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal … Agustus 2018 dan dinyatakan lulus.

DEWAN PENGUJI

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Nugroho Budi W, M. Si. NIP. 19840223 200801 1 011	Ketua Penguji		24-8-2018
Dr. Yosaphat Sumardi NIP. 19510516 197603 1 001	Penguji Utama		24-8-2018
Denny Darmawan, M.Sc. NIP. 19791202 200312 1 002	Penguji Pendamping		24-8-2018

Yogyakarta, 24 Agustus 2018
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,

Dr. Hartono
NIP. 19620329 198702 1 002

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Pipit Daristasari

NIM : 11306144025

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : Resonansi Bangunan Dengan Analisis Mikrotermor Di Dusun Patuk Kabupaten Gunung Kidul

menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila terbukti pernyataan saya tidak benar, sepenuhnya merupakan tanggung jawab saya

Yogyakarta,21 Agustus 2018

Yang Menyatakan,

Pipit Daristasari

NIM. 11306144025

MOTTO

"Barang siapa yang bersungguh sungguh, sesungguhnya kesungguhan tersebut untuk kebaikan dirinya sendiri"
(Qs. Al-Ankabut: 6)

"Waktu bagaikan pedang. Jika engkau tidak memanfaatkannya dengan baik (untuk memotong), maka ia akan memanfaatkanmu (dipotong)."
(HR. Muslim)

Jika kamu benar menginginkan sesuatu, kamu akan menemukan caranya. Namun jika tak serius, kau hanya akan menemukan alasan.

(Jim Rohn)

Hidup adalah cara berjuang untuk meraih kebahagiaan

Usaha dan doa kunci utama meraih kesuksesan

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap rasa syukur Alhamdulillah, karya ini kupersembahkan untuk :

1. *Ayahanda Danuri dan Ibunda Rusmimawarti yang telah membimbing, memberi nasehat, memberi motivasi yang berharga untukku.*
2. *Adikku Andika Dariswara yang selalu menemani untuk terus berjuang dan membantu proses terselesainya skrpsi ini.*
3. *Gunawan yang selalu menjadi penyemagat, motivasi yang berharga untukku.*
4. *Sahabatku Zekka Maulita C.P, Lathifah Nur R., Wahyu Handoko, Aditya Yoga dan Kholis Nur H yang selalu menjadi penyemangat dan motivasi untuk terus maju.*
5. *Teman-teman kelas Fisika E 2011 yang selalu menjadi penyemangat.*

RESONANSI BANGUNAN DENGAN ANALISIS MIKROTERMOR DI DUSUN PATUK KABUPATEN GUNUNG KIDUL

Oleh:
Pipit Daristasari
NIM. 11306144025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk Mengetahui nilai frekuensi dengan metode HVSR dan FSR Menentukan nilai resonansi beberapa bangunan di berdasarkan nilai frekuensi alami bangunan dan tanah, Mengetahui peta resiko kerusakan bangunan di Dusun Patuk, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul.Data penelitian diperoleh melalui pengukuran mikrotremor di 11 titik lokasi pengambilan data. Data mikrotremor kemudian dianalisis menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) untuk mendapatkan frekuensi alami tanah dan faktor amplifikasi tanah kemudian metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) untuk mendapatkan hasil frekuensi bangunan dan amplifikasi bangunan di setiap titik penelitian. Hasil dari analisis mikrotremor digunakan untuk menentukan nilai Resonansi (R).Hasil studi ini menyatakan bahwa nilai rata-rata resonansi untuk komponen EW dan NS di Dusun Patuk berkisar antara 22,25 % sampai 590,63 %. Dengan titik 6 dan titik 10 yang mempunyai tingkat kerentanan resonansi sedang dengan nilai 16,07 % dan 22,25% .

Kata Kunci : *resonansi bangunan, horizontal to vertical spectral ratio, floor spectral ratio, mikrotremor, Patuk.*

BULIDING RESONANCE WITH MICROTREMOR ANALYSIS IN PATUK VILLAGE GUNUNG KIDUL REGENCY

By:
Pipit Daristasari
NIM. 11306144025

ABSTRACT

This research aims to Knowing the frequency value with the HVSR and FSR methods, Determine the resonance value of several buildings based on building frequency values and land frequency, and Knowing the risk map for building damage in Patuk village, Patuk District, Gunung Kidul Regency. The research data was obtained through microtremor measurements at 11 data collection locations. The microtremor data was then analyzed using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) method to obtain the natural frequency of the soil and soil amplification factors then the Floor Spectral Ratio (FSR) method to obtain the results of building frequency and building amplification at each research point. The results of the mikrotremor analysis are used to determine the Resonance (R) value. The results of this study stated that the resonance average values for EW and NS components in Patuk Hamlet ranged between 22.25% to 590.63%. With point 6 and point 10 which has a moderate level of resonance susceptibility with a value of 16.07% and 22.25%.

Keywords: *building resonance, horizontal to vertical spectral ratio, floor spectral ratio, microtremor, Patuk.*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb,

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua sehingga saat ini kita masih dapat merasakan nikmat dan karunianNya. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada Junjungan kita yakni Nabi Muhammad SAW, semoga mendapat safaatnya di yaumil kiamah kelak. (Amin)

Dengan segala kerendahan hati, penulis mempersembahkan skripsi yang berjudul "Resonansi Bangunan dengan Analisis Mikrotermor Di Dusun Patuk Kabupaten Gunung Kidul" untuk memenuhi syarat memperoleh gelar sarjana strata satu di Universitas Negeri Yogyakarta.

Penyusunan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Sutrisna Wibawa, M.Pd. selaku Rektor Universitas Negeri Yogyakarta.
2. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan FMIPA UNY yang telah mengesahkan skripsi ini.
3. Bapak Drs. Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah membantu dalam hal administrasi skripsi ini.
4. Bapak Sumarna, M.Si., M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberi izin dalam pelaksanaan skripsi ini.
5. Bapak Nugroho Budi Wibowo, M.Si. selaku pembimbing I yang telah banyak membantu selama penelitian dan penyusunan skripsi, serta rela meluangkan

waktu di sela-sela kesibukan dan sabar dalam membimbing, terima kasih untuk ilmu, arahan dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.

6. Bapak Dr. Yosaphat Sumardi selaku pembimbing II yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi dan rela meluangkan waktu di sela-sela kesibukan dan istirahat, terima kasih untuk arahan, motivasi dan ilmu yang diberikan.
7. Bapak Heru, Mbak Juwita, Elma, Mas Ary, Pinky, Mas Omen, Ifun dan Mbak Fiki yang telah membantu dan menemani selama pengambilan data lapangan.
8. Badan Meterorologi, Klimatologi, dan Geofisika yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian.
9. Seluruh Dosen Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang selalu ikhlas membantu menyelesaikan skripsi ini.
10. Bapak Dukuh, Ibu Dukuh, serta masyarakat Dusun Patuk yang telah rela membantu dan meluangkan waktu di sela-sela kesibukan.
11. Keluarga tercinta (Orang tua, kakak, adik, dan keluarga besar) yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, motivasi, dan doa yang selalu menyertai dalam penulisan skripsi.
12. Kakakku tersayang (Mas Gunawan) yang telah rela membantu, memberi motivasi, dan senantiasa memanjatkan doa dalam penulisan skripsi.
13. Teman seperjuangan penelitian (Lathifah N.R) yang telah menjadi rekan yang kompak, tanggung jawab, ringan tangan, dan memberi motivasi dalam penulisan skripsi ini dan Mas Desta yang telah memberikan ilmu serta motivasi dalam penulisan skripsi.
14. Sahabat-sahabatku (Arshi, Safia, Monic, Armadani, dan Yeni) yang telah memberi motivasi, dan senantiasa memanjatkan doa dalam penulisan skripsi.
15. Teman-teman keluarga besar yayasan Tamansiswa cabang Nanggulan yang telah memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini.
16. Teman-teman Fisika E 2011, yang telah memberikan dukungan dalam penulisan skripsi ini.

17. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah membantu penyusunan tugas akhir ini baik secara langsung maupun tak langsung.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan kelemahan. Namun penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan seluruh praktisi yang berhubungan dengan skripsi ini (Amin Ya Rabbal ALamin).

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 21 Agustus 2018
Penulis,

Pipit Daristasari
NIM. 11306144046

DAFTAR ISI

JUDUL ..... **i**
PERSETUJUAN ..... **ii**
PENGESAHAN ..... **iii**
SURAT PERNYATAAN ..... **iii**
MOTTO ..... **v**
PERSEMBAHAN ..... **vi**
ABSTRAK ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiv**
DAFTAR TABEL ..... **xv**
LAMPIRAN ..... **xvi**
BAB I **1**
A. Latar Belakang 1
B. Identifikasi Masalah 6
C. Batasan Masalah 7
D. Rumusan Masalah 7
E. Tujuan Penelitian 8
F. Manfaat Penelitian 8
BAB II **10**
A. Gempabumi 10
1. Pengertian Gemp bumi 10
2. Penyebab terjadinya Gempa bumi 11
3. Faktor yang mempengaruhi besar kecilnya gempa bumi 12
4. Jenis Gempa bumi 13

B. Gelombang Seismik 14
1. Gelombang Badan (*Body Wave*) 14
2. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*) 17

C. Mikrotremor 18
D. Seismograf dan Seismometer 20
E. Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) 22
F. Transformasi Fourier, DFT, FFT 26
1. Transformasi Fourier 26
2. DFT (Discrete Fourier Transform) 28
3. FFT (Fast Fourier Transform) 29
G. Penghalusan Data (Smoothing) 34
H. Resonansi 36
I. Regional Dusun Patuk 41
J. Kerangka Berpikir 43
BAB III 44
A. Waktu dan Tempat Penelitian 44
B. Instrumen Penelitian 44
1. Perangkat Lunak 44
2. Perangkat Keras 45
C. Teknik Pengambilan Data 46
D. Teknis Analisis Data 49
1. Memilih sinyal tanpa *noise* dengan software Sesarray-Geopsy. 49
2. Menganalisis data mikrotremor dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). 50
3. Menganalisis Nilai Resonansi Getaran 52
E. Diagram Alir Penelitian 53
BAB IV 54
A. Mikrozonasi f_0 dan A_0 di Dusun Patuk 55
B. Analisis Resonansi Bangunan di Dusun Patuk 58
C. Analisis tingkat kerentanan Resonansi 62
BAB V 65
A. Kesimpulan 65
B. Saran 66
DAFTAR PUSTAKA 67
LAMPIRAN 70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Peta Tektonik kepulauan Indonesia dan sekitarnya (Bock et al.,

2003)..... 2
Gambar 2. Peta resiko gempa bumi di Indonesia (SNI 1726:2012) 2
Gambar 3. Gerakan lempeng bumi (oceanexplorer.noaa.gov) 12
Gambar 4. Ilustrasi Gerak Gelombang Primer (P) (Sumber : Elnashai dan Sarno, 2008)..... 15
Gambar 5. Ilustrasi Gerak Gelombang Sekunder (S) (Sumber : Elnashai dan Sarno, 2008) 17
Gambar 6. Ilustrasi gerak gelombang rayleigh (Ettwein and Maslin,2011) 18
Gambar 7. Ilustrasi gerak gelombang love (Ettwein and Maslin, 2011) 18
Gambar 8. *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S 21
Gambar 9. (a) Tampilan fisik seismometer tipe TDV-23S;(b) Konstruksi seismometer tipe TDV-23S;(c) Dimensi seismometer tipe TDV-23S;(d) Struktur bagian dalam seismometer tipe TDV-23S (TAIDE, 2010) 22
Gambar 10. a). Sinyal input b). Sinyal output dengan 11 titik moving average c). Sinyal output dengan 51 titik moving average (Smith, 1997) 35
Gambar 11. Sistem diberi peralihan kemudian dilepaskan 37
Gambar 12. Sistem diberikan osilasi dengan frekuensi jauh kecil dari pada frekuensi alaminya 38
Gambar 13. sistem diberi gerakan osilasi dengan frekuensi jauh lebih besar daripada frekuensi alami sistem 39
Gambar 14. Sistem diberikan nilai frekuensi sama dengan frekuensi alaminya 39
Gambar 15. Global Positioning System, kabel, Seismometer, Digital Portable Seismograph 46
Gambar 16. Peta pengambilan sampel data mikrotermor 48
Gambar 17. Proses pemilihan sinyal (windowing) pada Titik 9 untuk tanah..... 50
Gambar 18. Proses pemilihan sinyal (windowing) pada Titik 9 untuk bangunan..... 50
Gambar 19. Mikrozonasi frekuensi alami tanah di Dusun Patuk 56
Gambar 20. Mikrozonasi amplifikasi tanah di Dusun Patuk 57
Gambar 21. Grafik hubungan antara letak titik dengan rata-rata resonansi 60
Gambar 22. Grafik hubungan antara letak titik dengan frekuensi natural bangunan. 60
Gambar 23. Grafik hubungan antara letak titik dengan faktor amplifikasi bangunan 61
Gambar 24. Mikrozonasi frekuensi alami tanah di Dusun Patuk 63
Gambar 25. Mikrozonasi amplifikasi tanah di Dusun Patuk 64

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Data kerusakan fisik (Unit Perumahan) paska Gempa Bumi Bantul 27 Mei 2006	3
Tabel 2.	Data Rumah Rusak Berat dan Hancur yang Telah Diverifikasi Kabupaten Gunung Kidul	4
Tabel 3.	Klasifikasi Kerusakan Bangunan (Puslitbang Permukiman, 2013)	42
Tabel 4.	Persyaratan teknis survei mikrotremor (SESAME, 2004).....	47
Tabel 5.	Keterangan label setiap titik pengambilan data mikrotremor.....	49
Tabel 6.	Kriteria Reliabel dari Kurva H/V (SESAME, 2004).....	52
Tabel 7.	Hasil frekuensi alami dan faktor amplifikasi tanah	55
Tabel 8.	Resonansi bangunan di Dusun Patuk	59

LAMPIRAN

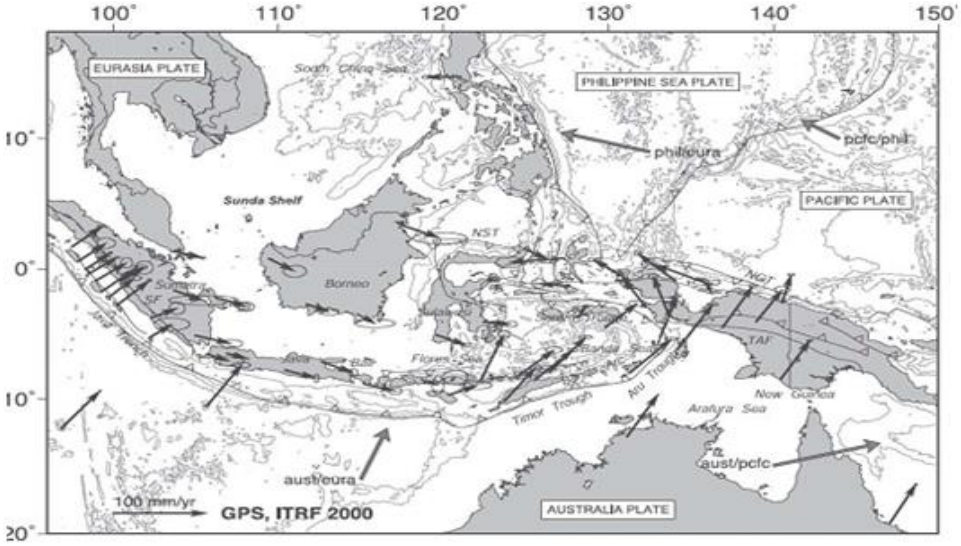
Lampiran 1	Dokumentasi Rumah Rusak Akibat Gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006.....	70
Lampiran 2.	Data kerusakan yang didapatkan dari wawancara dengan warga sekitar.....	71
Lampiran 3.	Data hasil Penelitian	72
Lampiran 4.	Analisis Mikrotremor dengan *software* Sassaray-Geopsy	73
Lampiran 5.	Analisis Mikrotremor untuk HVSR dengan Software MATLAB R2010a.....	78
Lampiran 6.	Analisis Mikrotremor untuk FSR dengan Software MATLAB R2010a ….....	84
Lampiran 7.	Grafik Hasil Analisis Data Mikrotremor untuk Tanah.....	86
Lampiran 8.	Grafik Hasil Analisis Data Mikrotremor untuk Bangunan.....	88
Lampiran 9.	Perhitungan Resonansi Bangunan	91
Lampiran 10.	Program FFT MATLAB R2010a *radix*-64.....	92
Lampiran 11.	Mikrozonasi.....	94

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

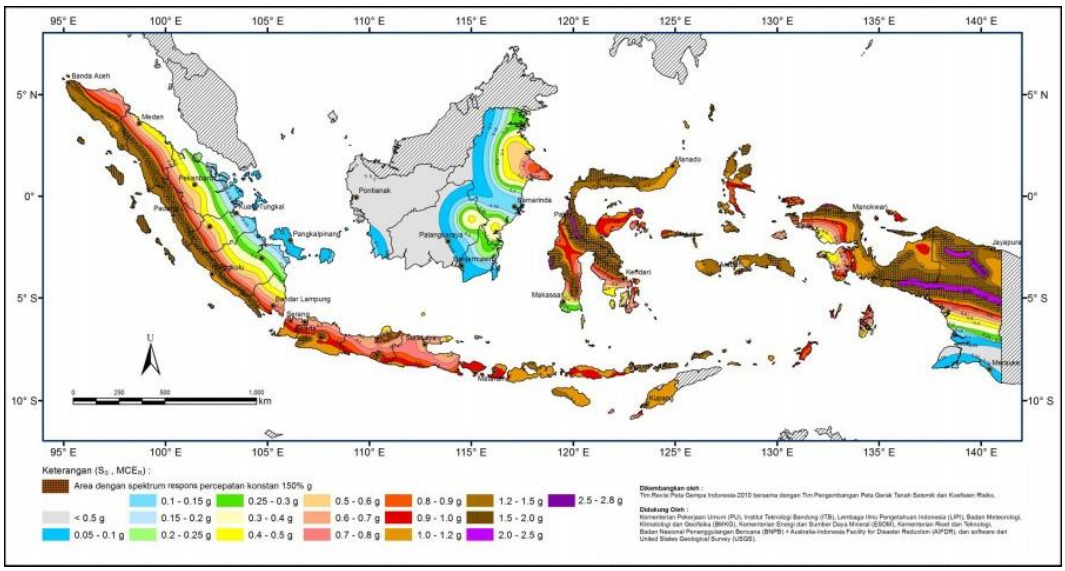
Wilayah Indonesia merupakan daerah pertemuan antara tiga lempeng bumi yang sangat aktif bergerak satu terhadap yang lainnya yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik. Pergerakan setiap lempeng tektonik tersebut sebesar 0-15 cm/tahun. Lempeng Indo-Australia di bagian Selatan relatif bergerak ke Utara dengan kecepatan sekitar 7 cm per tahun, lempeng Eurasia di bagian Utara relatif bergerak ke Selatan dengan kecepatan mencapai 13 cm per tahun, dan lempeng Pasifik di bagian Timur yang relatif bergerak ke Barat dengan kecepatan 10 cm per tahun (ESDM, 2009). Perbedaan arah gerakan lempengan akan mengakibatkan terjadinya tumbukan antar lempeng-lempeng tersebut. Adanya interaksi lempeng-lempeng yang bersifat tidak mementu mengakibatkan wilayah Indonesia sebagai wilayah yang memiliki tingkat kerawanan gempa bumi yang tinggi.

Gempa di Indonesia merupakan fenomena alam yang sudah sering terjadi akibat pengaruh dari letak geografis negara Indonesia. Wilayah yang rawan terjadi gempa bumi biasanya memiliki kesamaan letak geografis, yaitu yang terletak dekat dengan zona tumbukan lempeng seperti yang ditunjukan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Tektonik kepulauan Indonesia dan sekitarnya (Bock et al., 2003)

Berdasarkan data tersebut, para ahli di bidang geografi, geofisik, Geologi, Geoteknologi, Geodesi, dan Teknik Sipil telah membuat peta gempa Indonesia sehingga Pemerintah dapat memperoleh informasi akan rawannya gempa tektonik di beberapa wilayah di Indonesia seperti yang ditunjukan seperti gambar 2.



Gambar 2. Peta resiko gempa bumi di Indonesia (SNI 1726:2012)

Pulau Jawa merupakan wilayah yang rawan gempa karena termasuk dalam zona tumbukan lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia. Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan salah satu propinsi di bagian selatan Pulau Jawa yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia serta memiliki struktur geologi yang kompleks. Wilayah rawan gempa dan tingkat kerusakan akibat gempa dapat disebabkan dari kekuatan bangunan, kualitas bangunan, kondisi geologi, geotektonik lokasi bangunan, percepatan tanah daerah lokasi gempa bumi, getaran yang besar dan nilai amplifikasi tanah yang besar.

Gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006 merupakan peristiwa gempa bumi tektonik kuat yang mengguncang Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. Gempa bumi ini berasal dari pergeseran lempeng bumi di bawah laut dengan magnitudo grmpa 5,9 Skala Richter. Gempa Bumi ini mengakibatkan kerusakan terhadap unit perumahan pribadi di DIY seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data kerusakan fisik (Unit Perumahan) paska Gempa Bumi Bantul 27 Mei 2006

Kabupaten	**Hancur Total**	**Rusak**	**Total**
Bantul	46.753	33.137	79.889
Sleman	14.801	34.231	49.031
Gunung Kidul	5.095	17.967	23.062
Kota Yogyakarta	4.831	3.591	8.422
Kulon Progo	6.793	9.417	16.210

Sumber : Laporan bersama BAPPENAS, Pemerintah Provinsi dan Daerah D.I. Yogyakarta, Pemerintah Provinsi dan Daerah Jawa Tengah dan Mitra Internasional, 2006.

Gunung Kidul menjadi salah satu Kabupaten dengan tingkat kerusakan cukup parah akibat gempa bumi Bantul 2006, terutama untuk wilayah Kecamatan Patuk seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Data Rumah Rusak Berat dan Hancur yang Telah Diverifikasi Kabupaten Gunung Kidul

Kecamatan	Kerusakan
Panggang	228
Purwosari	184
Paliyan	80
Sapto Sari	86
Tepus	0
Tanjungsari	18
Rongkop	0
Girisubo	0
Semanu	19
Ponjong	11
Karangmojo	13
Wonosari	48
Playen	277
Patuk	2311
Gedang Sari	1300
Nglipar	417
Ngawen	90
Semin	13

Sumber : Government of Indonesia Assessment, February 2007

Berdasrkan tabel tersebut dan melakukan wawancara terhadap pemkab dan warga sekitar kecamatan Patuk, Dusun Patuk merupakan Dusun yang mempunyai

tingkat kerusakan rumah paling tinggi. di dusun tersebut terdapat retakan tanah selebar kurang lebih 30 cm, dan kerusakan paling parah terjadi di sepanjat perbukitan di Dusun Patuk, maka dari itu dilakukan penelitian di daerah Dusun Patuk dengan mengambil beberapa sampel rumah.

Salah satu faktor penting yang bisa digunakan untuk memprediksi bahaya gempa bumi pada suatu bangunan adalah dilakukan pengukuran resonansi antara frekuensi alami bangunan dan tanah di bawahnya . Jika nilai frekuensi bangunan mendekati nilai frekuensi alami material di bawahnya, maka getaran seismik akan membuat resonansi dengan bangunan yang akan meningkatkan stress pada bangunan tersebut. Untuk menentukan resonansi terhadap suatu bangunan dapat menggunakan mikrotermor.

Menurut Tokimatsu (2004), mikrotremor atau yang biasa disebut dengan ambient noise adalah getaran tanah dengan amplitudo mikrometer yang dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam ataupun buatan, seperti angin, gelombang laut atau getaran kendaraan yang bisa menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah dekat permukaan. Mikrotremor didasarkan pada perekaman ambient noise untuk menentukan parameter karakteristik dinamika (damping ratio dan frekuensi natural)dan fungsi perpindahan (frekuensi dan amplifikasi) bangunan.Teknik HVSR (Horizontal to Vertical Fourier Amplitude Spectral Ratio) pada analisis data mikrotremor telah digunakan secara luas untuk studi efek lokal dan mikrozonasi. Selain sederhana dan bisa dilakukan kapan dan dimana saja, teknik ini juga mampu mengestimasi frekuensi resonansi secara langsung tanpa harus mengetahui struktur kecepatan gelombang geser dan kondisi geologi bawah

permukaan lebih dulu. Nakamura (2004) menyebutkan bahwa metode HVSR untuk analisis mikrotremor bisa digunakan untuk memperoleh frekuensi alami tanah.

Data akusisi dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan frekuensi natural yang akan digunakan untuk menentukan resonansi tanah dan bangunan. Pengolahan data tersebut mengunakan analisis data *HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* untuk data tanah dan analisis *FSR (Floor Spectral Ratio)* untuk data bangunan. Sehingga bisa ditentukan nilai resonansi tanah dan bangunan tersebut. Informasi mengenai nilai resonansi banguan di Dusun Patuk masih belum diketahui. Untuk itu perlu diketahui informasi mengenai nilai resonansi bangunan dan potensi resiko gempa bumi terhadap bangunan di Dusun Patuk tersebut jika terjadi gempa bumi.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan dapat diidentifikasikan beberapa permasalahan sebagai berikut.

1. Belum diketahui nilai resonansi bangunan di Dusun Patuk, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul.
2. Belum diketahui mikrozonai resiko gempa bumi terhadap bangunan di Dusun Patuk, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul .

C. Batasan Masalah

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

1. Lokasi penelitian terletak di wilayah Dusun Patuk, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul, Yogyakarta dengan koordinat geografis trletak antara $7^0$50’ 37,2” – $7^0$51’ 7,8” lintang selatan dan 110^0 28’48,9” – 110^0 29’ 20” bujur timur.
2. Dari 50 rumah yang berada di dusun Patuk diambil 11 sampel rumah yang akan dilakukan pengukuran.
3. Pengambilan data mikrotermor mengacu pada aturan yang ditetapkan oleh SESAME *European Research Project*.
4. Mengolah data mikrotermor mengunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR)* untuk tanah dan *FSR (Floor Spectral Ratio)* untuk bangunan.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai beriku:

1. Bagaiman mikrozonasi frekuensi alami tanah *(f_0)* dan faktor amplifikasi tanah (*A_0)* di Dusun Patuk, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul ?
2. Berapakah nilai resonansi beberapa bangunan di Dusun Patuk, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul ?

3. Bagaimanakah analisis tingkat kerentanan resonansi bangunan di Dusun Patuk, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul ?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui mikrozonasi frekuensi alami tanah *(f_0)* dan faktor amplifikasi tanah (A_0) di Dusun Patuk, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul.
2. Menentukan nilai resonansi beberapa bangunan di Dusun Patuk, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul berdasarkan nilai frekuensi alami bangunan dan tanah.
3. Mengetahui analisis tingkat kerentanan resonansi bangunan di Dusun Patuk, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul.

F. Manfaat penelitian

Ada beberapa hal yang dapat diperoleh dari penelitian ini yaitu :

1. Memberikan informasi kantitatif tentang frekuensi alami bangunan, frekuensi alami tanah dan resonansi suatu bangunan di Dusun Patuk, Kecamatan Patuk, Kabupa ten Gunung Kidul
2. Memberikan gambaran secara visual berupa mikrozonasi potensi resiko gempa bumi tentang daerah dan bangunan rawan gempa bumi di Dusun Patuk, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul.

3. Menambah wawasan dan pengetahuan mengenai kegempaan, khususnya bagi warga Dusun Patuk, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul .

BAB II
DASAR TEORI

A. Gempa Bumi

1. Pengertian Gempa Bumi

Gempa Bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi yang disebabkan oleh deformasi batuan. Deformasi batuan terjadi akibat adanya tekanan dan tarikan pada lapisan bumi yang terus menerus sehingga terjadi pengumpulan energi dan pada suatu saat batuan pada lempeng tektonik tidak mampu lagi menahan gerakan tersebut dan terjadilah pelepasan energi yang disebut gempa bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi ini dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi. Semakin besar energi yang dilepaskan maka semakin kuat gempabumi yang terjadi (BMKG, 2014).

Gempa bumi sebenarnya terjadi hampir setiap hari, namun kebanyakan berkekuatan kecil dan tidak menyebabkan kerusakan yang berarti. Gempabumi berkekuatan kecil juga dapat mengiringi terjadinya gempabumi yang lebih besar dan dapat terjadi sesudah atau sebelum gempabumi besar tersebut terjadi. Gempabumi dinyatakan dalam skala dari satu hingga sembilan berdasarkan ukuran skala *Richter* (menunjukkan besarnya energi yang dibebaskan pada pusat gempa).

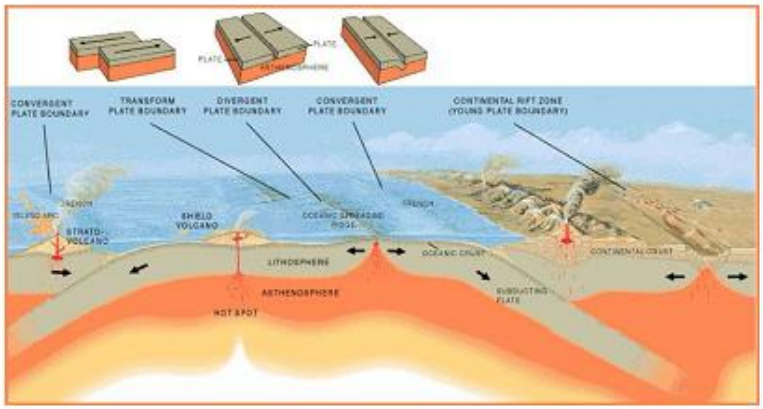
2. Penyebab terjadinya Gempa bumi

Menurut teori lempeng tektonik, permukaan bumi terpecah menjadi beberapa lempeng tektonik besar. Lempeng tektonik adalah segmen keras kerak bumi yang mengapung di atas astemosfer yang cair dan panas. Sehingga 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 gempa bumi, gunung berapi dan pembentukan dataran tinggi.

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 mantel. Lapisan ini sedemikian panasnya sehingga senantiasa dalam keadaan tidak 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 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).

Umumnya, gerakan ini berlangsung lambat dan tidak dapat dirasakan oleh manusia namun terukur sebesar 0-15cm per tahun. 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 gempa bumi.



Gambar 3. Gerakan lempeng bumi (oceanexplorer.noaa.gov)

3. Faktor yang mempengaruhi besar kecilnya Gempa bumi

Gempabumi yang terjadi pada suatu daerah bisa merupakan gempa yang berskala besar maupun gempa yang berskala kecil. Besar kecilnya gempa itu dikarenakan beberapa faktor berikut:

a. Skala atau magnitude gempa, yaitu kekuatan gempa yang terjadi yang bukan berdasarkan lokasi observasi pada suatu daerah. Magnitude gempa biasa dihitung tiap gempa terjadi dan dicatat oleh seismograf yang dinyatakan dalam satuan skala ricther (SR).

b. Durasi dan kekuatan gempa, yaitu lamanya guncangan gempa yang terjadi pada suatu daerah dan kekuatan gempa yang terjadi dengan melihat kerusakan pada daerah tempat terjadinya gempabumi.

c. Jarak sumber gempa terhadap perkotaan. Jarak sumber gempa yang jauh dari perkotaan akan memungkinkan intensitas gempa semakin rendah.

d. Kedalaman sumber gempa, yaitu kedalaman pusat terjadinya gempa diukur dari permukaan bumi. Semakin dalam pusat gempa maka semakin rendah kekuatan gempa yang terjadi.

e. Kualitas tanah dan bangunan, kualitas tanah yang buruk akibat bangunan dapat mengakibatkan serangan gempabumi yang kuat.

f. Lokasi perbukitan dan pantai, merupakan daerah rawan gempa karena perbukitan dan pantai merupakan daerah pertemuan lempeng sehingga dapat mempengaruhi besar kecil kekuatan gempa berdasarkan hiposentrumnya.

4. Jenis Gempa bumi

Gempa bumi dapat dibedakan berdasarkan kedalamnnya sebagai berikut (Sonjaya, 2008):

a. Gempa bumi Dangkal

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

b. Gempa bumi Menengah

Gemap bumi menengah adalah gempa bumi yang hiposenternya berada antara 50 km – 300 km di bawah permukaan bumi. Di Indonesia Gempa

bumi ini terbentang sepanjang Sumatra sebelah Barat, Jawa sebelah Selatan, selanjutnya Nusa Tenggara antara Sumbawa dan Maluku, sepanjang Teluk Tomini, dan Laut Maluku sampai Filipina. Gempa ini dengan focus kurang dari 150 km dibawaqh permukaan bumi masih dapat menimbulkan kerusakan.

c. Gempa bumi Dalam

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

B. 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 ledakan. Gelombang utama Gempa bumi terdiri dari dua tipe yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) (Kayla, 2008).

1. Gelombang Badan (*Body Wave*)

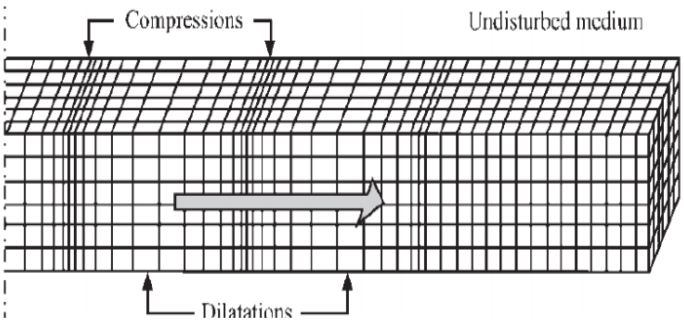
Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar melalui bagian dalam permukaan bumi dan bisa disebut *free wave* karena dapat menjalar ke segala arah di dalam bumi. Gelombang ini dibedakan menjadi dua yaitu gelombang primer dan gelombang skunder

a. Gelombang Primer

Gelombang primer merupakan gelombang longitudinal, gerakan partikelnya sejajar dengan arah perambatannya yang diilustrasikan seperti gambar 4. Gelombang primer (P) memiliki kecepatan paling tinggi di antara gelombang lainnya dan gelombang primer adalah gelombang yang pertama kali terdeteksi oleh seismograf. Kecepatan gelombang P antara 4 – 7 km/s di kerak bumi, lebih besar dari 8 km/s di dalam mantel dan inti bumi, lebih kurang 1,5 km/s didalam air dan lebih kurang 0,3 km/s di udara. Kecepatan penjalaran gelombang P dapat ditulis dengan persamaan (Kayal, 2008) :

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \qquad (1)$$

dengan V_p adalah kecepatan gelombang P (m/s), k adalah modulus bulk (N/m^2) , μ adalah modulus geser (N/m^2),dan ρ adalah kerapatan material yang dilalui gelombang (kg/m^3).



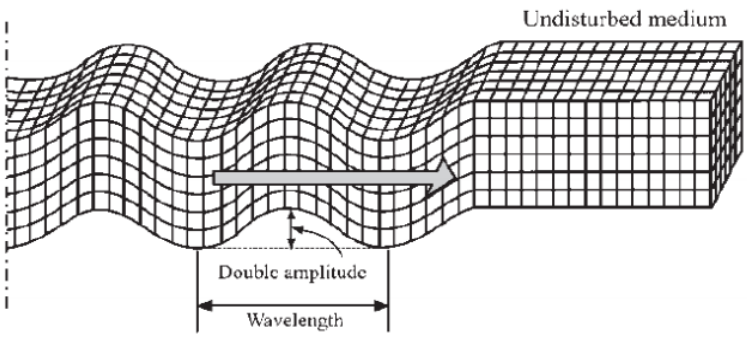
Gambar 4 Ilustrasi Gerak Gelombang Primer (P)
(Sumber : Elnashai dan Sarno, 2008)

b. Gelombang Sekunder

Gelombang sekunder merupakan gelombang transversal atau shear wave, gerakan partikelnya tegak lurus dengan arah gerak perambatannya yang diilustrasikan seperti gambar 5. Gelombang ini hanya dapat menjalar melalui medium padat karena medium cair dan gas tidak punya daya elasitas untuk kembali ke bentuk asal. Gelombang sekunder (S) memiliki kecepatan yang lebih rendah dibandingkan dengan gelombang primer, sehingga terdeteksi oleh seismograf setelah gelombang primer (Braile, 2012). Kecepatan gelombang S adalah 3-4 km/s di kerak bumi, lebih besar dari 4,5 km/s di dalam mantel bumi, dan 2,5-3 km/s di dalam inti bumi. Kecepatan gelombang S dapat di tunjukkan dengan persamaan (Kayal, 2008) :

$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \tag{2}$$

dengan V_S adalah kecepatan gelombang S (m/s), μ adalah modulus geser (N/m^2),dan ρ adalah kerapatan material yang dilalui gelombang (kg/m^3). Di bandingkan dengan gelombang P,gelombang S inilah yang paling merusak. Gelombang ini mampu mendorong lapisan tanah ke beberapa sisi dan membuatnya merekah.



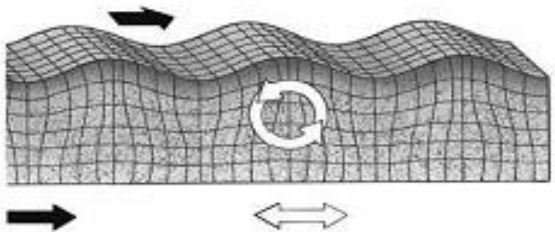
Gambar 5 Ilustrasi Gerak Gelombang Sekunder (S)
(Sumber : Elnashai dan Sarno, 2008)

2. Gelombang permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan merupakan salah satu gelombang seismik selain gelombang badan. Gelombang ini ada pada batas permukaan medium. Berdasarkan pada sifat gerakan partikel media elastik, gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar, yang menjalar akibat adanya efek free survace dimana terdapat perbedaan sifat elastik (Susilawati, 2008). Jenis dari gelombang permukaan ada dua yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang Love.

a. Rayleigh Wave

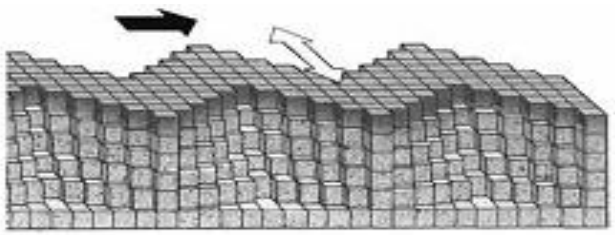
Gelombang Rayleigh atau *groundroll* adalah gelombang yang menjalar di permukaan bumi dengan pergerakan partikelnya menyerupai ellip. Karena menjalar di permukaan, amplitudo gelombang rayleigh akan berkurang dengan bertambahaya kedalaman. Didalam rekaman seismik, gelombang Rayleigh dicirikan dengan amplitudonya yang besar dan dicirikan dengan frekuensi rendah.



Gambar 6. Ilustrasi gerak gelombang rayleigh (Ettwein and Maslin, 2011)

b. Love Wave

Gelombang Love merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal yang merupakan gelombang S horizontal yang penjalarannya paralel dengan permukaannya (Gadallah dan Fisher, 2009). Nama Love diberikan untuk menghormati Augustus Edward Hough Love (1863-1940), matematikawan asal Oxford. Beliau dianugrahi Adam prize setelah menemukan model gelombang permukaan jenis ini.



Gambar 7 Ilustrasi gerak gelombang love (Ettwein and Maslin, 2011)

C. Mikrotermor

Mikrotremor merupakan getaran tanah selain gempa bumi, bisa berupa getaran akibat aktivitas manusia maupun aktivitas alam. Mikrotremor bisa terjadi karena getaran akibat orang yang sedang berjalan, getaran mobil, getaran mesin-mesin pabrik, gerakan angin, gelombang laut atau getaran alamiah dari tanah. Mikrotremor mempunyai frekuensi lebih tinggi dari frekuensi gempabumi, periodenya kurang dari 0,1 detik yang secara umum antara 0,05 - 2 detik dan untuk mikrotremor periode panjang bisa 5 detik, sedang amplitudonya berkisar 0,1 - 1,0 mikron (Mirzaoglu, 2003).

Salah satu pengunaan mikrotremor adalah dalam bidang perancangan bangunan tahan gempa, dipakai untuk meyelidiki struktur bangunan yang rusak akibat gempa. Dalam merancang bangunan tahan gempa, sebaiknya diketahui periode natural dari tanah setempat untuk menghindari adanya fenomena resonansi yang dapat memperbesar amplifikasi getaran jika terjadi gempa bumi. Mikrotremor juga dapat dipakai untuk mengetahui jenis tanah berdasarkan tingkat kekerasannya. Makin kecil periode predominan tanah, makin besar tingkat kekerasannya tanah yang mempunyai periode predominan besar makin lunak atau lembek sifatnya.

Observasi mikrotremor dapat memberikan informasi yang berguna pada keadaan yang dinamis seperti halnya periode dominan dan amplitudo. Observasi mikrotremor mudah untuk dilakukan dan dapat diaplikasikan sama baiknya pada tempat-tempat dengan seismisitas rendah, dengan demikian pengukuran mikrotremor dapat digunakan untuk mikrozonasi seismik. Energi mikrotremor sebagian besar bersumber dari gelombang Rayleigh, dan *site effect amplification* terjadi akibat keberadaan permukaan lapisan tanah lunak yang menempati setengah cekungan dari batuan dasar. Pada kondisi ini ada empat komponen gerakan tanah yang terlibat, yaitu komponen gerak horizontal dan vertikal di batuan dasar dan komponen gerak horizontal dan vertikal dipermukaan (Lermo et al.,1997 dalam Labertta,2013).

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

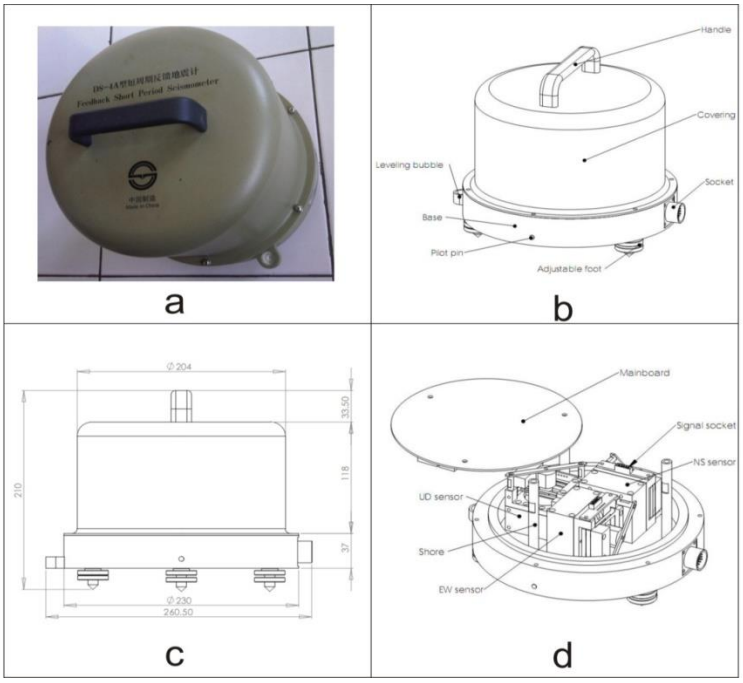
dipermukaan tanah yang bersentuhan langsung dengan batuan dasar diarea cekungan dilambangkan dengan T_V dan T_H (Nakamura,2000:5 dalam Labertta,2013).

D. Seismograf dan Seismometer

Seismograf merupakan instrumen yang dapat mendeteksi dan mencatat pergerakan tanah atau getaran tanah akibat gempabumi beserta informasi waktu yang tepat. Seismograf terdiri dari seismometer, penunjuk waktu yang akurat, dan perangkat untuk merekam sinyal yang diperoleh dari seismometer. Hasil rekaman pergerakan tanah dari seismograf disebut seismogram. Pada penelitian ini seismograf yang digunakan adalah *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S. Bentuk alat *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S ditunjukkan seperti pada Gambar

Gambar 8. *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S

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



Gambar 9. (a) Tampilan fisik seismometer tipe TDV-23S;(b) Konstruksi seismometer tipe TDV-23S;(c) Dimensi seismometer tipe TDV-23S;(d) Struktur bagian dalam seismometer tipe TDV-23S (TAIDE, 2010)

E. Horizontal to Vertical Spectra Ratio (HVSR) dan *Floor Spectra Ratio* (FSR)

HVSR adalah metode yang didasarkan pada asumsi bahwa rasio spektrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan. Kebenaran dari metode ini telah dibuktikan dengan menggunakan hasil pengamatan mikrotremor di beberapa titik. Hal itu juga menunjukkan bahwa karakteristik dinamis lapisan permukaan secara kasar dapat dipahami pada titik yang diobservasi, jika pengamatan bentuk gelombang *seismic tremor* dilakukan dari 3 komponen, yaitu dua komponen horizontal dan satu komponen vertikal. Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR ialah frekuensi natural dan amplifikasi.

Metode metode FSR adalah metode fungsi transfer dari tiap lantai antara spektral bangunan dan spektral tanah. Fungsi transfer dari struktur telah diperkirakan oleh rasio spektral struktur dan spektral tanah atau spektral bidang bebas, ini disebut *floor spektral rasio* (FSR). Menurut Gosar metode *Floor Spectral Ratio* (FSR) merupakan metode standar. Untuk evaluasi kekuatan bangunan yang disebabkan getaran seismik dan karakteristik pembangunan dapat dilakukan dengan pencatatan rekaman mikrotremor.

Pengolahan data yang digunakan pada pengukuran bangunan menggunakan metode FSR (*Floor Spectral Ratio*) Dalam menentukan fungsi transfer bangunan, tidak direkomendasikan menggunakan *horizontal-to-vertical spectral ratio* (HVSR),walaupun kemungkinan perkiraan frekuensi natural dalam beberapa kasus. Namun tidak pada dasar teori penerapan mikrotremor bangunan karena tidak dapat memberikan asumsi bahwa horizontal dan vertical spectral adalah sama pada permukaan tanah. Ini sangat berbahaya jika amplifikasi tanah sangat kuat secara signifikan. Pada analisis HVSR sedimen mungkin terkontaminasi respon bangunan, sehingga identifikasi resonansi dimungkinkan salah.

Nakamura (1989) mengusulkan sebuah hipotesa bahwa getaran mikrotremor pada suatu lokasi dapat ditentukan dengan menghitung rasio spektral antara komponen horizontal terhadap komponen vertikal yang diamati pada suatu titik lokasi yang sama. Persamaan tersebut didefinisikan sebagai berikut :

$$S_T = \frac{S_{HS}}{S_{HE}} \qquad (3)$$

dengan S_T adalah rasio spectral, S_{HS} adalah spectral horizontal dari gerak tanah pada permukaan lapisan tanah lunak dan S_{HE} adalah spectral horizontal dari gerak tanah yang dekat dengan lapisan tanah keras. Kemudian dikembangkan oleh Lermo dkk (1993) bahwa efek rasio spektral (E_S) pada pergerakan getaran meliputi spektrum vertikal pada permukaan tanah (S_{VS}), tetapi tidak pada lapisan dasar (S_{VE}).

$$E_S = \frac{S_{VS}}{S_{VE}} \tag{4}$$

Selanjutnya diperkenalkan rumus efektanah termodifikasi (S_{TT}) sebagai berikut :

$$S_{TT} = \frac{S_T}{E_S} \tag{5}$$

Dan persamaan ( ) setara dengan :

$$S_{TT} = \left(\frac{S_{HS}}{S_{VS}}\right) / \left(\frac{S_{VE}}{S_{VS}}\right) \tag{6}$$

Nakamura (1989) menyatakan bahwa rasio S_{HE} terhadap S_{VE} mendekati satu. Angka ini di dapatkan melalui pengukuran mikrotremor dengan pengeboran. Dengan demikian dapat diasumsikan bahwa efek tanah termodifikasi menjadi sebagai berikut,

$$S_{TT} = \left(\frac{S_{HS}}{S_{VS}}\right) \tag{7}$$

Hal ini juga sejalan dengan rumus pada metode-metode lain yang pernah diteliti (Bard dkk., 1985; Steimen dkk., 2003; Roten dkk., 2006). Kemudian Claprood dkk. (2012) menjabarkan persamaan HVSR sebagai berikut:

$$HVSR = \frac{\sqrt{S_{NS}^2 + S_{EW}^2}}{S_{VP}} \tag{8}$$

dan persamaan FSR sebagai berikut

$$axial\ HVSR = \frac{S_{NS}}{S_{VP}} \tag{9}$$

$$transverse\ HVSR = \frac{S_{EW}}{S_{VP}} \tag{10}$$

dengan S_{NS} adalah komponen spektrum horizontal arah utara-selatan, S_{EW} adalah komponen spektrum horizontal arah barat-timur, dan S_{VP} adalah spektrum mikrotremor arah vertikal.

Dalam kajian literaturnya, Sungkono (2011) menyimpulkan bahwa parameter HVSR (amplifikasi dan frekuensi natural) dapat digunakan untuk mikrozonasi kerusakan bangunan akibat getaran gempa bumi. Sungkono berpendapat meskipun beberapa peneliti berpendapat bahwa kurva HVSR berkaitan dengan gelombang permukaan, terutama frekuensi fundamental, HVSR yang berupa gelombang badan (Herak, 2008) merupakan pendekatan yang lebih baik daripada pendekatan dengan gelombang permukaan beberapa mode (Albarello dan Lunedei, 2010; Dal Moro, 2010).

Keuntungan utama dari metode HVSR adalah pengukuran sederhana dan biaya rendah, yang dapat dilakukan kapan saja dan di mana saja. Estimasi langsung frekuensi resonansi sedimen tanpa perlu mengetahui struktur geologi dan S-wave tanah dibawahnya (Bard, 1999).

F. Transformasi Fourier, DFT, FFT

1. Transformasi Fourier

Secara sederhananya transformasi Fourier digunakan untuk mengubah kawasan waktu menjadi kawasan frekuensi. Pengubahan itu dimaksudkan untuk mempermudah analisis yang dilakukan. Dalam bidang pengolahan sinyal pengubahan tersebut dapat dilakukan terhadap sinyal maupun terhadap sistemnya. Transformasi Fourier sinyal akan menghasilkan spektrum sinyal. Sedangkan transformasi Fourier terhadap sistem akan menghasilkan tanggapan frekuensi sistem.

Tranformasi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi dapat diperoleh dengan mencari persamaan deret Fourier dari $x(t)$ yang dinyatakan dengan superposisi fungsi sinus dan kosinus yaitu (Hidayat, 2009):

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_n \, e^{-in\omega_0 t} \tag{11}$$

Untuk memperoleh koefisien Fourier, kedua ruas persamaan (11) dapat dikalikan dengan $e^{-ik\omega_0 t}$.

$$x(t)e^{-ik\omega_0 t} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \, e^{-in\omega_0 t} \, e^{-ik\omega_0 t} \tag{12}$$

Mengintegralkan kedua ruas presamaan (12) dari 0 sampai $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$ diperoleh persamaan

$$\int_0^{T_0} x(t)e^{-ik\omega_0 t} \, dt = \int_0^{T_0} \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \, e^{-in\omega_0 t} e^{-ik\omega_0 t} \, dt \tag{13}$$

Persamaan (13) dapat disederhanakan menjadi

$$\int_0^{T_0} x(t)e^{-ik\omega_0 t} \, dt = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \int_0^{T_0} e^{-i(n-k)\omega_0 t} \, dt \tag{14}$$

Untuk $n \neq k$, integral di sisi kanan adalah nol. Untuk $n = k$, nilai e^0 di sisi kanan sama dengan 1, sehingga nilai integralnya adalah $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$ jadi,

$$\int_0^{T_0} e^{-i(n-k)\omega_0 t} dt = \begin{cases} T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}, n = k \\ 0, n \neq k \end{cases} \tag{15}$$

Persamaan (15) hanya akan mempunyai nilai ketika $k = n$, sehingga diperoleh

$$\int_0^{T_0} x(t) e^{-ik\omega_0 t} dt = a_k T_0 \tag{16}$$

maka koefisien fourier a_k didefinisikan sebagai

$$a_k = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} x(t) e^{-ik\omega_0 t} dt \tag{17}$$

Untuk menghitung koefisien Fourier dari sinyal yang periodik dengan interval $\frac{-T_0}{2} < t < \frac{T_0}{2}$ maka persamaan (16) menjadi

$$a_k = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t) e^{-jk\omega_0 t} dt \tag{18}$$

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

$$a_k T_0 = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-jk\omega_0 t} dt \qquad -\infty < k < \infty \tag{19}$$

dengan k adalah indeks domain frekuensi, $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$ adalah frekuensi fundamental dalam radian per sekon, dan $f_0 = \frac{1}{T_0}$ adalah frekuensi fundamental dalam Hz (Li Tan, 2008). Dengan mengubah $X(f) = T_0 a_k$ dan $\omega = k\omega_0$ maka diperoleh persamaan transformasi Fourier seperti persamaan berikut

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt \tag{20}$$

2. DFT

DFT adalah metode atau algoritma untuk mengetahui komponen-komponen frekuensi harmonik beserta amplitudonya dari sebuah sinyal periodik atau merupakan deret Fourier (Li Tan, 2008). DFT juga memperlihatkan hubungan antara domain waktu dengan domain frekuensi. Oleh karena itu, DFT dapat diaplikasikan untuk analisis frekuensi dari sebuah rangkaian sinyal domain waktu (Li Tan, 2008). Persamaan DFT diperoleh dengan cara mengubah notasi integral pada persamaan (16) menjadi notasi sigma dengan subtitusi $T_0 = NT$, $f_0 = \frac{1}{T_0}$, $dt = T$ dan $t = nT$, sehingga dapat didefinisikan sebagai:

$$X(k) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{\frac{-i2\pi kn}{N}} \tag{21}$$

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

3. FFT

FFT adalah metode perhitungan koefisien Fourier yang sebelumnya dihitung dengan DFT, tetapi lebih efisien dengan algoritma yang tidak mengubah esensi dari DFT itu sendiri (Li Tan, 2008). Sinyal digital yang merupakan data diskrit *x(n)* terdiri dari 2^m data, dengan *m* merupakan bilangan positif sehingga N =2, 4, 8, 16,...dst. Jika $x(n)$ 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 (Li Tan, 2008). Bermula dari persamaan (21), misal $W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$ sebagai faktor *twiddle* dan $N = 2, 4, 6, 8, 16, \ldots 2^m$ dapat dikembangkan sebagai

$$X(k) = x(0) + x(1)W_N^{k(0)} + x(2)W_N^{k(1)} \ldots + x(N-1)W_N^{k(N-1)} \quad (22)$$

kemudian $x(n)$ dikelompokkan menjadi suku genap dan ganjil sehingga persamaan (20) menjadi

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n)W_N^{2nk} + \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n+1)W_N^{(2n+1)k} \quad (23)$$

suku kedua (ganjil) pada persamaan (23) dapat ditulis ulang

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n)W_N^{2nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n+1)W_N^{2nk} \quad (24)$$

dengan menggunakan $W_N^2 = e^{-j\frac{2\pi 2}{N}} = e^{-j\frac{2\pi}{\left(\frac{N}{2}\right)}}$ maka $W_N^2 = W_{\frac{N}{2}}$, sehingga persamaan (22) menjadi

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n)W_{N/2}^{nk} + W_N^k \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n+1)W_{N/2}^{nk} \quad (25)$$

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

Persamaan (23) didefinisikan dalam dua fungsi baru yaitu:

Fungsi genap:

$$G(k) = \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n) W_{\frac{N}{2}}^{n\left(k+\frac{N}{2}\right)} = \text{DFT } [x(2n) \text{ dengan } \frac{N}{2} \text{ data}] \qquad (26)$$

Fungsi ganjil:

$$H(k) = \sum_{n=0}^{\left(\frac{N}{2}\right)-1} x(2n+1) W_{\frac{N}{2}}^{nk} = \text{DFT } [x(2n+1) \text{ dengan } \frac{N}{2} \text{ data}] \qquad (27)$$

Setelah domain waktu dibagi dua, maka domain frekuensi juga dibagi dua sehingga persamaan (24) akan menjadi $G(k) = G\left(k + \frac{N}{2}\right)$ dengan $k = 0, 1, \ldots, \frac{N}{2} - 1$ dan persamaan (25) akan menjadi $H(k) = H\left(k + \frac{N}{2}\right)$ dengan $k = 0, 1, \ldots, \frac{N}{2} - 1$. Subtitusi persamaan (24) dan (25) ke dalam persamaan (23) sehingga menghasilkan persamaan:

$$X(k) = G(k) + \mathrm{W}_{\mathrm{N}}^{\mathrm{k}} H(k) \qquad k = 0, 1, \ldots, \frac{N}{2} - 1 \qquad (28)$$

Persamaan (27) dan (28) 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 (28) merupakan susunan matrik asli yang meliputi matrik domain frekuensi, matrix *kernel*, dan matrik domain waktu dari data. Pengisian $e^{-j2\pi k \frac{n}{N}}$ pada baris dan kolom matrik *kernel*, disesuaiakan dengan perkalian k dan n. Dimulai dengan menyatakan poin-N DFT dengan $N = 8$ maka bentuk matrik dengan $N = 8$ menjadi :

$$e^{-j2\pi k \frac{n}{N}}$$

$$k = 0, 1, 2, \ldots, N - 1$$

$$n = 0, 1, 2, \ldots, N - 1$$

$$\begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \\ X(4) \\ X(5) \\ X(6) \\ X(7) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-j2\pi 0\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 2\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 3\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 4\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 5\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 6\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 7\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{7}{8}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ x(2) \\ x(3) \\ x(4) \\ x(5) \\ x(6) \\ x(7) \end{bmatrix} \quad (29)$$

Persamaan matrik pada persamaan (29) dapat dikelompokkan menjadi suku genap dan suku ganjil sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \\ X(4) \\ X(5) \\ X(6) \\ X(7) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-j2\pi 0\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 2\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 3\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 4\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 5\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 6\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 7\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{6}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{7}{8}} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x(0) \\ x(1) \\ x(2) \\ x(3) \\ x(4) \\ x(5) \\ x(6) \\ x(7) \end{bmatrix} \quad (30)$$

Matrik pada persamaan (30) dapat disusun menjadi matrik yang lebih kecil seperti ditunjukkan pada persamaan (31):

$$\begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \\ X(4) \\ X(5) \\ X(6) \\ X(7) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-j2\pi 0\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{6}{8}} \\ e^{-j2\pi 1\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 1\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 1\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 1\frac{6}{8}} \\ e^{-j2\pi 2\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{6}{8}} \\ e^{-j2\pi 3\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{6}{8}} \\ e^{-j2\pi 4\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{6}{8}} \\ e^{-j2\pi 5\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{6}{8}} \\ e^{-j2\pi 6\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{6}{8}} \\ e^{-j2\pi 7\frac{0}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{2}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{4}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{6}{8}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \\ 6 \\ 8 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} e^{-j2\pi 0\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 0\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 1\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 1\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 1\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 1\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 2\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 2\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 3\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 3\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 4\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 4\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 5\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 5\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 6\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 6\frac{7}{8}} \\ e^{-j2\pi 7\frac{1}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{3}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{5}{8}} & e^{-j2\pi 7\frac{7}{8}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 3 \\ 5 \\ 7 \end{bmatrix} \quad (31)$$

Selanjutnya akan dirumuskan FFT *radix*-4 dengan cara DFT data dibagi menjadi empat bagian**,** yaitu:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x(4n)\, \mathrm{W}_{\mathrm{N}}^{(4n)k} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x(4n+1)\, \mathrm{W}_{\mathrm{N}}^{(4n+1)k}$$

$$+ \sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n+2)\, \mathrm{W}_{\mathrm{N}}^{(4n+2)k} + \sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n+3)\, \mathrm{W}_{\mathrm{N}}^{(4n+3)k} \qquad (32)$$

$$= \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x(4n)\, \mathrm{W}_{\mathrm{N}}^{(4n)k} + \mathrm{W}_{\mathrm{N}}^{k} \sum_{n=0}^{\frac{N}{4}-1} x(4n+1)\, \mathrm{W}_{\mathrm{N}}^{(4n)k}$$

$$+\mathrm{W}_{\mathrm{N}}^{2\mathrm{k}} \sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n+2)\,\mathrm{W}_{\mathrm{N}}^{(4\mathrm{n})\mathrm{k}} + \mathrm{W}_{\mathrm{N}}^{3\mathrm{k}} \sum_{n=0}^{N/4-1} x(4n+3)\,\mathrm{W}_{\mathrm{N}}^{(4\mathrm{n})\mathrm{k}} \quad (33)$$

Jika indeks domain frekuensi dibagi menjadi empat bagian dengan $k = 0, 1, \ldots, \frac{N}{4} - 1$ maka FFT *radix*-4 menjadi:

$$X(k) = Y(k) + W_N^k Z(k) + W_N^{2k} G(k) + W_N^{3k} H(k) \quad (34)$$

Selain itu FFT *radix*-4 dapat dihitung dengan metode pendekatan matrik. Dimulai dengan menyatakan poin-N DFT dengan $N = 8$ sehingga hasil bentuk matrik dapat ditunjukkan pada persamaan (30). Selanjutnya, memilah data menjadi 2 bagian, yaitu genap dan ganjil seperti pada persamaan (31). Karena menggunakan *radix*-4, maka data sinyal dibagi menjadi 4 bagian, sehingga persamaan matrik FFT *radix*-4 diperoleh:

$$\begin{bmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \\ X(4) \\ X(5) \\ X(6) \\ X(7) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-j2\pi\frac{0}{2}} & e^{-j2\pi\frac{0}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{0}{2}} & e^{-j2\pi\frac{4}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{0}{2}} & e^{-j2\pi\frac{2}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{0}{2}} & e^{-j2\pi\frac{6}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{0}{4}} & e^{-j2\pi\frac{4}{4}} \\ e^{-j2\pi\frac{0}{4}} & e^{-j2\pi\frac{5}{4}} \\ e^{-j2\pi\frac{0}{4}} & e^{-j2\pi\frac{6}{4}} \\ e^{-j2\pi\frac{0}{4}} & e^{-j2\pi\frac{7}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(0) \\ x(4) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e^{-j2\pi\frac{2}{2}} & e^{-j2\pi\frac{0}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{2}{2}} & e^{-j2\pi\frac{4}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{2}{2}} & e^{-j2\pi\frac{2}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{2}{2}} & e^{-j2\pi\frac{6}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{2}{4}} & e^{-j2\pi\frac{4}{4}} \\ e^{-j2\pi\frac{2}{4}} & e^{-j2\pi\frac{5}{4}} \\ e^{-j2\pi\frac{2}{4}} & e^{-j2\pi\frac{6}{4}} \\ e^{-j2\pi\frac{2}{4}} & e^{-j2\pi\frac{7}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(2) \\ x(6) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e^{-j2\pi\frac{1}{2}} & e^{-j2\pi\frac{0}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{1}{2}} & e^{-j2\pi\frac{4}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{1}{2}} & e^{-j2\pi\frac{2}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{1}{2}} & e^{-j2\pi\frac{6}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{1}{4}} & e^{-j2\pi\frac{4}{4}} \\ e^{-j2\pi\frac{1}{4}} & e^{-j2\pi\frac{5}{4}} \\ e^{-j2\pi\frac{1}{4}} & e^{-j2\pi\frac{6}{4}} \\ e^{-j2\pi\frac{1}{4}} & e^{-j2\pi\frac{7}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(1) \\ x(5) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e^{-j2\pi\frac{3}{2}} & e^{-j2\pi\frac{0}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{3}{2}} & e^{-j2\pi\frac{4}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{3}{2}} & e^{-j2\pi\frac{2}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{3}{2}} & e^{-j2\pi\frac{6}{2}} \\ e^{-j2\pi\frac{3}{4}} & e^{-j2\pi\frac{4}{4}} \\ e^{-j2\pi\frac{3}{4}} & e^{-j2\pi\frac{5}{4}} \\ e^{-j2\pi\frac{3}{4}} & e^{-j2\pi\frac{6}{4}} \\ e^{-j2\pi\frac{3}{4}} & e^{-j2\pi\frac{7}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(3) \\ x(7) \end{bmatrix} \quad (35)$$

FFT *Radix*-4 membutuhkan *cost arithmetics* yang lebih sedikit dibandingkan dengan kelas *Radix* FFT yang lebih tinggi (Riyanto et al,2009). Oleh karena itu, pada algoritma FFT *Radix*-4 membutuhkan waktu perhitungan yang lebih cepat dan efisien.

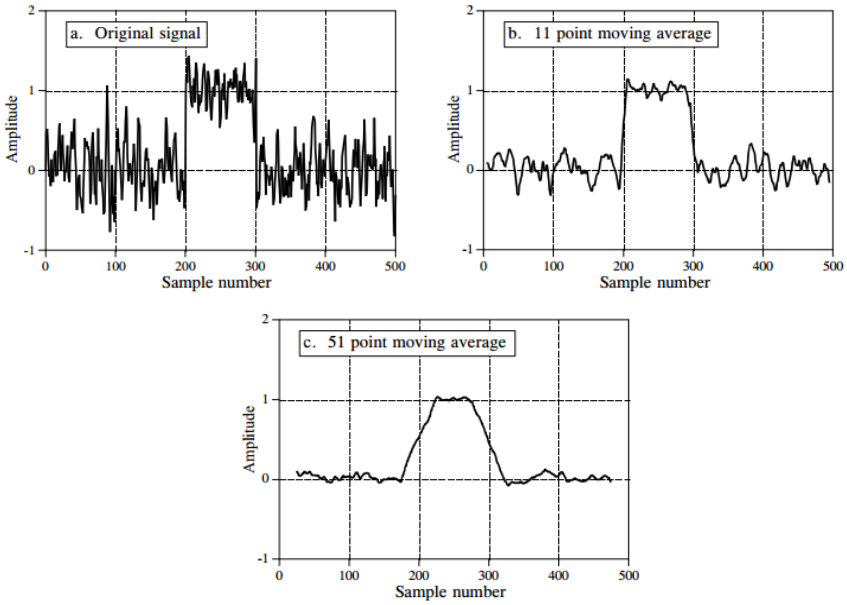
G. Smoothing

Dalam pemrosesan sinyal untuk penghalusan suatu sinyal dilakukan dengan cara membuat suatu fungsi pendekatan yang mempresentasikan pola data, sedangkan *noise* dalam hal ini dianggap sebagai frekuensi tinggi yang akan direduksi. Dalam penghalusan data, titik-titik data suatu sinyal dimodifikasi sedemikian rupa sehingga titik-titik yang tidak mengikuti pola tersebut akan direduksi. Penghalusan ini dilakukan sebelum perhitungan nilai H/V dan didasarkan pada persamaan *moving average*.

Moving average digunakan untuk mereduksi *noise* dari sinyal pada domain frekuensi. *Moving average* beroperasi dengan cara merata-rata nilai dari sebuah sinyal input untuk menghasilkan nilai sinyal output untuk setiap titik. Dalam bentuk persamaan, *moving average* dituliskan sebagai (Smith, 1997) :

$$y[i] = \frac{1}{M}\sum_{j=0}^{M-1} x\,[i+j] \qquad (36)$$

dengan $x\,[i+j]$ adalah sinyal *input*, $y\,[i]$ adalah sinyal *output*, dan M adalah banyaknya nilai yang dirata-rata.



Gambar 10. a). Sinyal *input* b). Sinyal *output* dengan 11 titik *moving average* c). Sinyal *output* dengan 51 titik *moving average* (Smith, 1997)

Gambar 10 adalah contoh bagaimana penghalusan data menggunakan *moving average*. Gambar 11a adalah sinyal input sebelum menggunakan *moving average*, sedangkan Gambar 11b dan Gambar 11c adalah sinyal output setelah menggunakan *moving average* dengan nilai rata-rata 11 dan 51.

H. Resonansi

Terdapat dua sebab terjadinya amplifikasi gelombang gempa yang dapat mengakibatkan kerusakan bangunan. Pertama, adanya gelombang yang terjebak di lapisan lunak (Nakamura, 2000; Sato *et al.*, 2004), sehingga gelombang tersebut terjadi superposisi antar gelombang. Jika gelombang tersebut mempunyai frekuensi yang relatif sama, maka terjadi proses resonansi gelombang gempa. Akibat proses resonansi ini, gelombang tersebut saling menguatkan. Kedua, adanya kesamaan

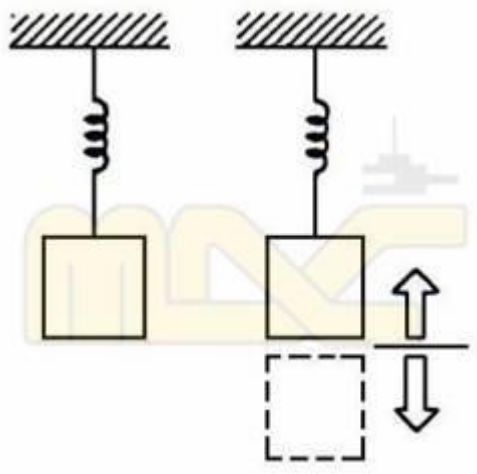
frekuensi natural antara geologi setempat dengan bangunan (Gosar, 2007). Ini akan mengakibatkan resonansi antara bangunan dan tanah setempat. Akibatnya, getaran tanah pada bangunan lebih kuat.

Resonansi yang terjadi pada bangunan yang bergetar merupakan masalah di dalam desain, karena dapat menyebabkan kerusakan atau keruntuhan dari struktur bangunan. Untuk mempelajari fenomena resonansi, akan ditinjau suatu benda yang digantung dengan pegas (sistem benda-pegas) dan diberi gangguan pada tumpuannya, seperti terlihat pada Gambar 8. Jika benda tersebut ditarik sehingga terjadi simpangan kemudian dilepaskan, maka akan terjadi getaran bebas pada benda tersebut.

Jika tumpuan dari benda tersebut digerakkan ke atas dan ke bawah, maka akan terjadi salah satu dari fenomena berikut ini. Apabila gerakan osilasi yang diberikan sangat lambat yaitu waktu getarnya panjang, benda tersebut akan bertranslasi mengikuti gerakan tumpuannya. Sebaliknya, apabila gerakan osilasi yang diberikan sangat cepat, maka benda tersebut akan relatif diam, karena adanya gaya inersia sebagai akibat adanya gerakan cepat dari tumpuan.

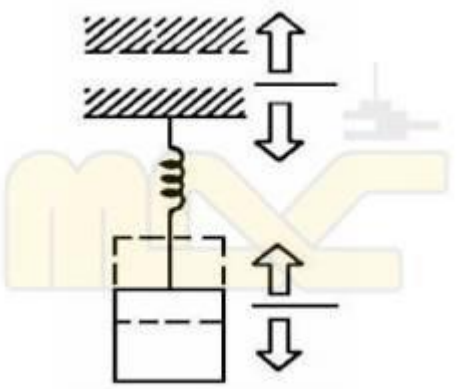
Suatu keadaan kritis dapat terjadi jika waktu getar osilasi yang diberikan, sama besar dengan waktu getar sistem benda-pegas. Dalam hal ini osilasi yang diberikan akan menyebabkan benda mulai bergetar ke atas dan ke bawah. Jika osilasi ini terus terjadi, amplitudo gerak getaran akan terus-menerus bertambah. Dengan demikian, perpanjangan dan

perpendekan yang relatif datar ini dapat sangat jauh lebih besar daripada osilasi semula yang diberikan. Sebagai akibatnya, osilasi yang terjadi akan menjadi sangat besar.



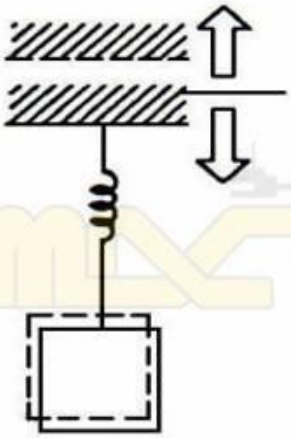
Gambar 11. Sistem diberi peralihan kemudian dilepaskan

Jika mula-mula pada sistem diberi peralihan kemudian dilepaskan, maka massa akan bergetar bebas dengan frekuensi tertentu seperti yang ditunjukan gambar 11.



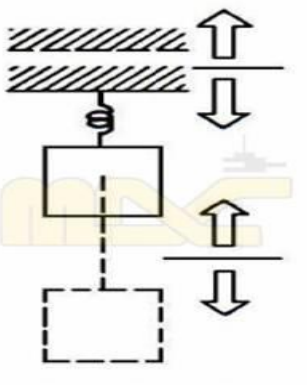
Gambar 12. Sistem diberikan osilasi dengan frekuensi jauh kecil dari pada frekuensi alaminya

Jika sistem diberi gerakan osilasi dengan frekuensi jauh lebih kecil daripada frekuensi alaminya, massa akan bertranslasi ke atas dan ke bawah mengikuti gerakan tumpuan (tanpa ada perpanjangan atau perpendekan pegas) seperti yang ditunjukan gambar 12.



Gambar 13. sistem diberi gerakan osilasi dengan frekuensi jauh lebih besar daripada frekuensi alami sistem

Jika sistem diberi gerakan osilasi dengan frekuensi jauh lebih besar daripada frekuensi alami sistem, aksi inersia mempunyai kecenderungan mempertahankan keadaan semula sehingga massa dapat dikatakan tetap diam. Terjadi deformasi pegas yang cukup besar dibandingkan dengan amplitudo osilasi yang diberikan seperti yang ditunjukan gambar 13.



Gambar 14. Sistem diberikan nilai frekuensi sama dengan frekuensi alaminya

Jika frekuensi osilasi yang diberikan sama dengan frekuensi alami sistem, timbul kondisi resonansi, dengan amplitudo getaran massa akan melampaui amplitudo osilasi yang diberikan. Dengan demikian akan ada gaya yang sangat besar pada pegas seperti yang ditunjukan gambar 14.

Struktur bangunan nyata dapat mempunyai perilaku seperti pada sistem-pegas yang telah dibahas dari gambar 11 sampai gambar 14. Apabila frekuensi alami dari gerakan yang diberikan sama dengan frekuensi alami getaran sistem struktur itu sendiri, maka fenomena resonansi akan terjadi.

Jika tidak diperhitungkan dengan baik, struktur bangunan gedung dapat juga mengalami resonansi akibat pengaruh getaran gempa. Resonansi pada bangunan gedung akan mengakibatkan deformasi yang berlebihan, serta meningkatnya tegangan pada elemen-elemen struktur. Oleh karena itu aksi dinamis akibat gempa perlu diperhatikan, karena berpotensi menyebabkan terjadinya keruntuhan yang tak diinginkan.

Dalam menentukan nilai resonansi maka digunakan persamaan sebagai berikut :

$$R = \left|\frac{f_b - f_t}{f_t}\right| x100\% \quad (37)$$

dengan R, fb dan ft berturut-turut adalah resonansi, frekuensi natural bangunan, dan frekuensi natural tanah. Sesuai yang direkomendasikan oleh Gosar, tingkat kerentanan resonansi bangunan terhadap gempa bisa diklasifikasikan menjadi tiga kriteria, yakni; rendah (>±25%), sedang (15 - 25%) dan tinggi (<±15%).

I. Regional Dusun Patuk

Dusun Patuk merupakan wilayah bagian Desa Patuk, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan batas wilayah sebelah utara dan timur adalah Padukuhan Ngandong, sebelah selatan Desa Salam dan sebelah barat Kabupaten Bantul. Secara geografis dusun Patuk terletak antara 7°50'37.2" - 7°51'7,8" Lintang Selatan dan 110°28'48,9" -110°29'20" Bujur Timur. Luas daerah Dusun Patuk adalah 69,95 HA yang merupakan dataran tinggi berbukit-bukit dan pegunungan serta memiliki ketinggian tanah dari permukaan laut 400 m Dpl. Selain itu, Dusun Patuk memiliki tekstur tanah lempung, tanah berwarna merah, dan rawan kekeringan. Menurut beberapa tokoh masyarakat dari Dusun Patuk

wilayah Dusun Patuk mengalami kerusakan ringan, sedang dan berat pasca gempabumi 27 Mei 2006. Klasifikasi dapat dilihat dalam tabel 3 berikut :

Tabel 3. Klasifikasi Kerusakan Bangunan (Puslitbang Permukiman, 2013).

No.	**Kategori Kerusakan**	**Kerusakan Yang Terjadi**
I	Rusak Ringan	Dinding retak halus, kerusakan tidak tembus Plesteran terkelupas Plafon dan *listplank* rusak Tidak ada kerusakan structural
II	Rusak Sedang	Dinding partisi retak tembus atau roboh sebagian. Bagian struktural (kolom, balok, kuda-kuda) mengalami kerusakan tetapi masih dapat diperbaiki. Dinding struktural (bangunan tanpa kolom dan balok) mengalami kerusakan yang masih dapat diperbaiki.
III	Rusak Berat	Dinding retak tembus dan mengalami perubahan bentuk atau miring. Bagian struktural (kolom, balok, kuda-kuda) mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki. Dinding struktural (bangunan tanpa kolom dan balok) mengalami kerusakan yang tidak dapat diperbaiki. Pondasi amblas / retak / bergeser Bangunan roboh total

Berdasarkan klasifikasi di atas dapat diketahui bahwa bangunan yang diambil menjadi sampel di Dusun Patuk yang mengalami kerusakan bangunan akibat gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006 yaitu ada 1 bangunan yang mengalami rusak ringan, 4 bangunan yang mengalami rusak sedang dan 5 bangunan yang mengalami rusak berat. Berdasarkan Peta Geologi Yogyakarta , wilayah Dusun Patuk tersusun oleh formasi Nglanggeran. Formasi Nglanggeran tersusun oleh breksi gunung api dengan fragmen andesit, breksi aliran, aglomerat, lava, dan tuff.

Menurut Toha et al (1996), di beberapa tempat formasi ini terlihat sebagai perkembangan dari tubuh batuan beku andesit basal yang berubah secara berangsur-angsur menjadi batuan beku terkekarkan berstruktur bantal, breksi autoklastik, hialoklastik dan akhirnya menjadi breksi andesit. Formasi ini berumur Miosen Tengah bagian bawah.

J. Kerangka Berpikir

Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah metode HVSR dan FSR yang mengolah komponen horizontal dengan komponen vertikal sinyal untuk mengetahui karakteristik mikrotremor. Pada metode HVSR, terdapat dua komponen horizontal, terdiri dari komponen Utara-Selatan dan Barat-Timur yang dibandingkan dengan komponen vertikal. Pada metode FSR yang pertama komponen Utara-Selatan dibandingkan dengan vertical, yang kedua komponen Barat-Timur dibandingkan dengan vertical. Untuk menghasilkan rasio spektrum dari komponen horizontal dengan komponen vertikal digunakan program *software* MATLAB R2010a.

Untuk mengetahui nilai resonansi pada suatu bangunan menggunakan persamaan (37) dengan memasukkan nilai frekuensi alami tanah (f_t) dan frekuensi alami bangunan (f_b) . Berdasarkan hasil analisis dari nilai resonansi dapat dibuat peta resiko kerusakan bangunan dengan mengunakan software surfer 10. Peta resiko inilah yang akan digunakan untuk memberikan informasi kepada masyarakat tentang resiko kerusakan bangunan.

BAB III
METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian dilakukan pada bulan September 2014 - Januari 2016. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 6 dan 7 Desember 2014. Sebelum dilakukan penelitian, telah dilakukan studi literatur dan diskusi yang dimulai pada bulan September 2014. Penelitian berupa pengukuran mikrotremor secara langsung di Dusun Patuk, Kabupaten Gunung Kidul, DIY sebanyak 11 titik lokasi. Setiap titik dilakukan pengukuran dua kali yaitu pengukuran tanah dan bangunan selama 30 menit dengan frekuensi sampling 100 Hz.

B. Instrumen Penelitian

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

1. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. DATAPRO (paket program dari seismograf TDS 303) digunakan untuk akuisisi data mikrotremor dan mengubah format ASCII (.ascii) ke dalam format MINI SEED (.msd).

b. *Sassaray-Geopsy* digunakan untuk pemilihan gelombang

c. Notepad digunakan untuk menampilkan hasil export *cut* gelombang dalam format ASCII Multi Columns menjadi format text (.txt).

d. MATLAB R2010a berfungsi untuk menganalisis data mikrotremor dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).

e. Surfer 10 digunakan untuk membuat peta potensi kerusakan bangunan.

f. Microsoft Word 2013 untuk menyusun data.

g. Microsoft Excel 2013 untuk mengolah data.

h. Global Mapper untuk memasukan titik koordinat penelitian ke GPS.

i. Google Earth untuk penentuan titik awal penelitian.

2. Perangkat Keras

Perangkat keras yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah

a. *Digital Portable Seismograph* tipe TDL-303S untuk merekam getaran tanah pada setiap titik penelitian.

b. *Seismometer* tipe TDV-23S untuk mengukur getaran tanah pada setiap titik penelitian.

c. *Global Positioning System* (GPS) digunakan untuk menentukan posisi pada setiap titik penelitian.

d. Kabel untuk menghubungkan *Digital Portable Seismograph* dengan *Seismometer*.

e. Kompas digunakan untuk menentukan arah pada saat memasang *seismometer*.

f. Laptop digunakan untuk akuisisi dan analisis data mikrotremor.

Gambar 15. *Global Positioning System*, kabel, *Seismometer*, *Digital Portable Seismograph*

C. Teknik Pengambilan Data

Langkah kerja yang dilakukan sebelum pengambilan data mikrotremor secara langsung adalah membuat desain survei yang bertujuan untuk menentukan lokasi pengambilan data mikrotremor. Desain survei dibuat dengan mengambil beberapa sampel titik di Dusun Patuk. Penentuan titik sampel mengacu pada gempa Yogyakarta 2006 yang di dapat dari warga sekitar Dusun Patuk yang mengalami kerusakan bangunan. Bangunan yang sudah dijadikan titik pengukuran dapat dilihat titik koordinatnya menggunakan GPS, sehingga desain survey dapat di plot dengan koordinat geografis 7,844° LS-7,851° LS dan 110,480° BT-110,487° BT. Desain survei dibuat dengan mengacu pada peta geologi Yogyakarta dengan skala 1:100,000.

Setelah titik lokasi ditentukan, dilakukan survei lokasi pengambilan data. Hal ini bertujuan untuk mempermudah saat proses pengambilan data supaya tidak memerlukan tambahan waktu karena lokasi titik penelitian sudah diketahui

sebelumnya. Pemilihan lokasi dan pengambilan data dilakukan sesuai dengan persyaratan teknis survei mikrotremor yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Persyaratan teknis survei mikrotremor (SESAME, 2004).

Parameter	Saran yang dianjurkan	
Durasi Pencatatan	f_g minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
	0.2	30
	0.5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
Coupling soil-sensor alami	1. Mengatur sensor langsung pada permukaan tanah. 2. Tidak menempatkan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan.	
coupling soil-sensor buatan	1. Menghindari lempengan yang terbuat dari material lunak seperti karet atau busa. 2. Memasang sensor dalam timbunan pasir atau wadah yang diisi pasir untuk kemiringan yang curam dimana sulit mendapatkan level sensor yang baik.	
Keberadaan bangunan atau pohon	1. Menghindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi, jika terdapat tiupan angin di atas ±5 m/s. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisis HVSR yang ditunjukkan dengan kemunculan frekuensi rendah pada kurva. 2. Menghindari pengukuran di lokasi tempat parkiran, pipa air, dan gorong-gorong.	
Kondisi cuaca	1. Angin: melindungi sensor jika kecepatan angin di atas ±5 m/s. 2. Hujan: menghindari pengukuran di bawah terpaan hujan lebat, kecuali hujan ringan, karena tidak akan berpengaruh. 3. Temperatur: memeriksa sensor seismograf dan mencatat	

	instruksi pabrik.
Gangguan	1. Sumber monokromatik: menghindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, dan generator yang sedang beroperasi. 2. Sumber sementara: jika terdapat sumber getar transient (jejak langkah kaki, mobil lewat, motor lewat) tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cuku untuk analisis setelag gangguan tersebut hilang.

Lokasi pengambilan data mikrotremor ditunjukkan oleh titik yang berwarna merah dengan nomor pada peta lokasi yang berjumlah 11 sampel titik penelitian. Peta lokasi pengambilan data mikrotremor berupa peta informasi geologi Yogyakarta ditunjukkan pada Gambar 16 .

Gambar 16. Peta pengambilan sampel data mikrotermor

Pengambilan data mikrotremor pada setiap titik tertentu memiliki frekuensi alami yang berbeda, frekuensi alami inilah yang akan memberikan pengaruh terhadap besar atau kecilnya nilai resonansi bangunan.

Tabel 5. Keterangan label setiap titik pengambilan data mikrotremor.

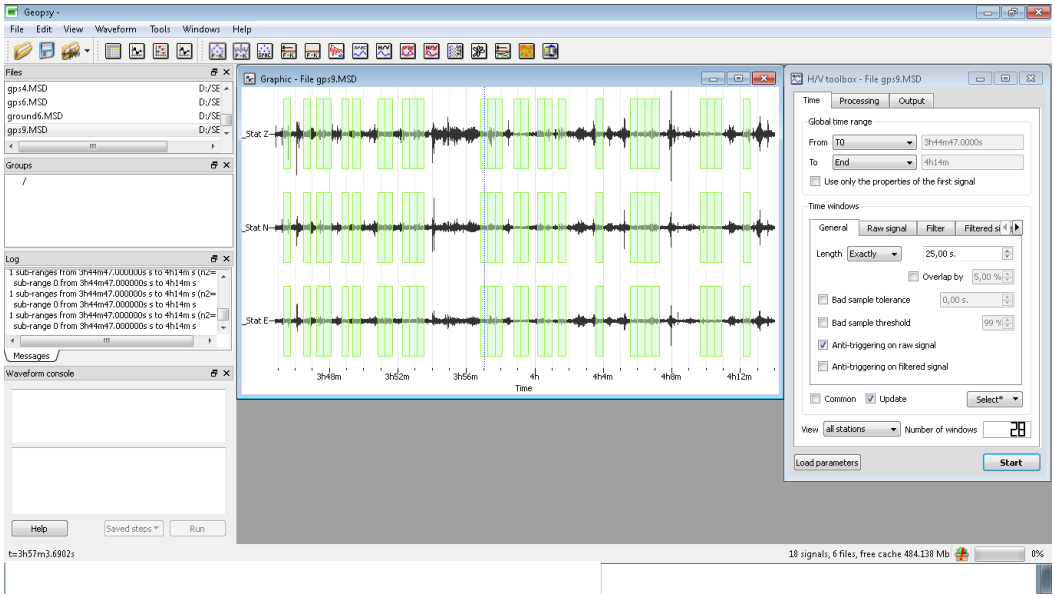
TA	Keterangan label
1	Rumah Bp. Puryadi.
2	Toko Bakpia 5555
3	Rumah Bp. Basrinurdin.
4	Kantor Kecamatan Patuk Lama
5	Rumah Bp. Sigit Bintoro (Bangunan 2 lantai).
6	Rumah Bp. Indro Sumarto
7	Rumah Ibu Rudiyem.
8	Rumah Bp. Tatang Darmono.
9	Rumah Bp. Dalyo
10	Toko Busana Griya Aryanti
11	Rumah Bp. Ruwiyono.

D. Teknis Analisis Data

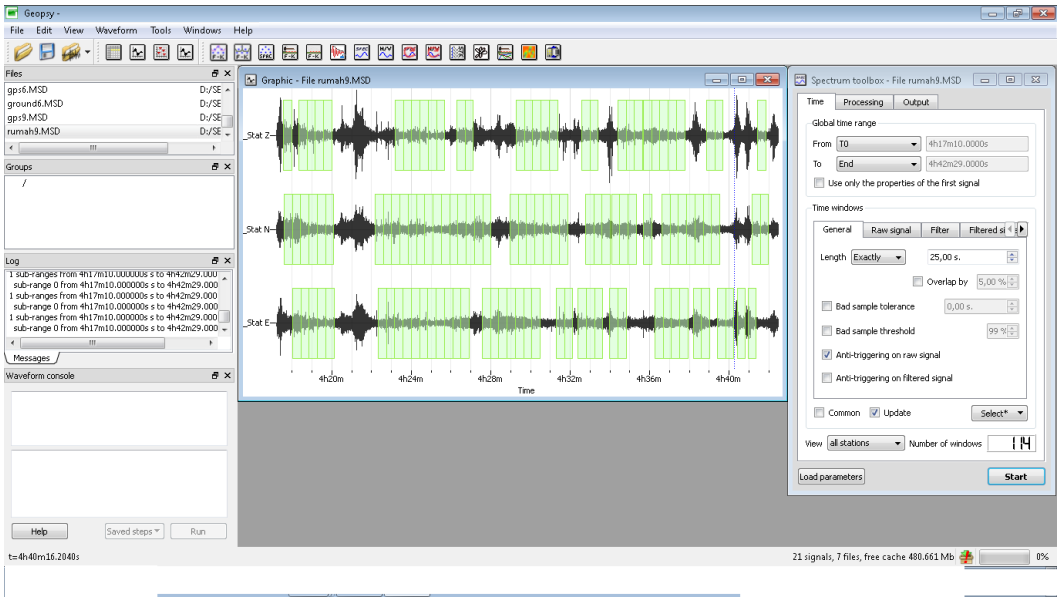
Langkah kerja untuk menganalisis data pada penelitian ini adalah:

1. Memilih sinyal tanpa *noise* dengan software Sesarray-Geopsy.

Pemilihan sinyal tanpa *noise* (*windowing*) dilakukan dengan software Sesarray-Geopsy menggunakan metode HVSR untuk tanah dan metode FSR untuk bangunan. Proses analisis HVSR maupun FSR dilakukan dengan memilih data mikrotremor yang tidak mengandung *noise* dengan panjang data 25 detik atau 2500 data tiap *window* karena setiap 1 detik mempunyai 100 data dan dilakukan pemilihan data dengan jumlah minimal 10 *window* pada tiap titik penelitian. Dalam pemilihan data dengan memaka7i metode HVSR semua komponen bisa dipilih langsung tetapi untuk metode FSR dalam memilih data di lakukan tiap komponen yaitu komponen Z, komponen N dan komponen E seperti yang ditunjukkan pada gambar



Gambar17. Proses pemilihan sinyal (windowing) pada Titik 9 untuk tanah.



Gambar 18. Proses pemilihan sinyal (windowing) pada Titik 9 untuk bangunan.

2. Menganalisis data mikrotremor dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).

Pemilihan sinyal tanpa *noise* (*windowing*) dilakukan dengan software Sesarray-Geopsy dengan melakukan *cut* gelombang. Hasil *export cut* gelombang

dengan format text (.txt) digabungkan dalam satu *file* menjadi format Excel Workbook (.xls). Data mentah mikrotremor dianalisis menggunakan program MATLAB R2010a. Data mikrotremor hasil pengukuran merupakan data mentah getaran tanah dalam fungsi waktu. Transformasi Fourier digunakan untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu $x(t)$ ke domain frekuensi $X(f)$ (Manolakis and Ingle, 2011). Masing-masing *window* dari 2 komponenhorizontal dan 1 komponen vertikal yang tersimpan dalam format Excel Workbook (.xlsx) dianalisis menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Program *radix* yang di *run* pada MATLAB R2010a didapatkan dari Persamaan DFT yang mengacu pada Persamaan 21, karena FFT merupakan metode perhitungan koefisien Fourier yang sebelumnya dihitung dengan DFT.

Setelah itu dilakukan penghalusan data (*smoothing*) pada masing-masing *window* dari 2 komponen horizontal dan 1 komponen vertikal dengan menggunakan persamaan *moving average* sebanyak 46 titik data. *Moving average* beroperasi dengan cara merata-rata nilai dari sebuah sinyal input untuk menghasilkan nilai sinyal output untuk setiap titik. *Moving average* dalam bentuk persamaan mengacu pada Persamaan 36.

Data yang sudah di*smoothing*, dianalisis dengan metode HVSR untuk tanah dan FSR untuk bangunan. Dari analisis HVSR dan FSR akan diperoleh kurva HVSR dan kurva FSR tiap komponen EW dan NS yang dibagi degan komponen vertikal yang akan menunjukkan nilai frekuensi predominan dan faktor amplifikasi. Untuk kriteria kurva H/V merujuk pada standar yang ditetapkan oleh

SESAME European Research Project, yang berupa kriteria reliabel dari kurva H/V dengan kiteria.

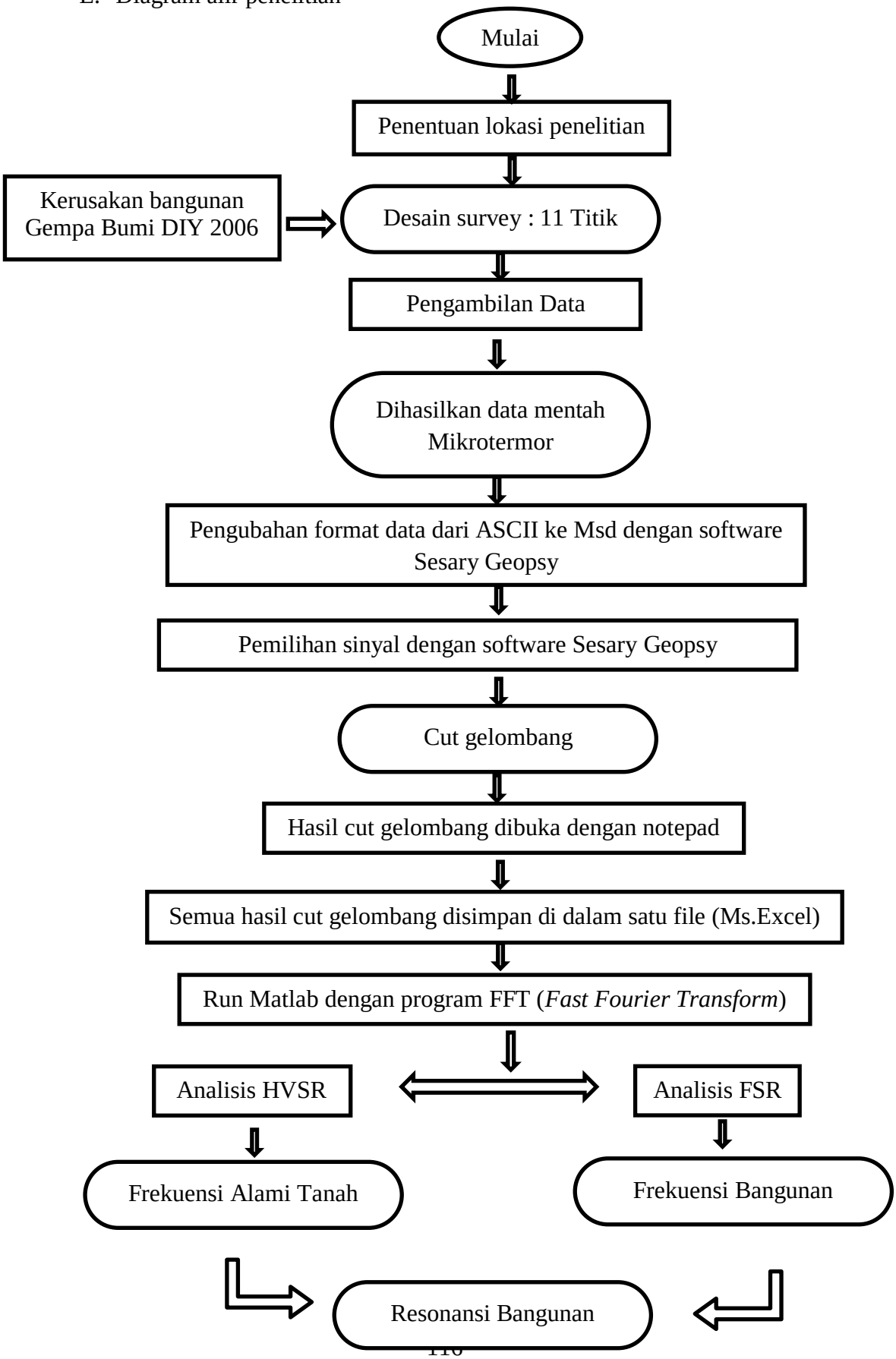
Tabel 6. Kriteria Reliabel dari Kurva H/V (SESAME, 2004).

Kriteia reliabel dari kurva H/V
$f_0 > 10/I_w$ $n_c > 200$ $\sigma_A < 2$ untuk $0.5\ f_0 < f < 2\ f_0$ jika $f_0 > 0.5$ Hz atau $\sigma_A > 3$ untuk $0.5\ f_0 < f < 2\ f_0$ jika $f_0 < 0.5$ Hz

3. Menganalisis Nilai Resonansi Getaran

Frekuensi alami bangunan yang memiliki nilai mendekati frekuensi alami tanah diseleksi untuk menghitung rasio keduanya dengan menggunakan persamaan 37 di atas. Sehingga dihasilkan nilai resonansi tanah dan bangunan yang memungkinkan untuk dilakukan klasifikasi tingkat kerentanan bangunan tersebut akan terjadi resoanansi ketika dikenai gempa.

E. Diagram alir penelitian



BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah nilai rata-rata resonansi bangunan dari komponen EW dan komponen NS, kemudian divisualisasikan dengan grafik rata-rata resonansi di Dusun Patuk. Hasil perhitunagn dari Resonansi bangunan ini berkaitan dengan tingkat kerentanan bangunan wilayah Dusun Patuk terhadap resiko bencana gempa bumi. Peristiwa resonansi ini akan terjadi jika nilai frekuensi alami tanah mendekati nilai frekuensi alami bangunan, oleh karena itu getaran seismik akan membuat resonansi dengan bangunan yang akan meningkatkan stress pada bangunan. Perhitungan nilai resonansi mengunakan parameter frekuensi alami dari tanah (f_0) dan frekuensi alami dari bangunan (*fb*). Dalam pembuatan bangunan jika tidak diperhitungkan dengan baik, struktur bangunan dapat juga mengalami resonansi akibat pengaruh getaran gempa. Resonansi pada bangunan akan mengakibatkan deformasi yang berlebihan, serta meningkatnya tegangan pada elemen-elemen struktur. Oleh karena itu aksi dinamis akibat gempa perlu diperhatikan, karena berpotensi menyebabkan terjadinya keruntuhan yang tak diinginkan. Dusun Patuk memiliki ruang lingkup yang kecil dan hanya memiliki satu jenis formasi yaitu formasi Nglanggeran. Formasi Nglanggeran tersusun oleh breksi gunung api dengan fragmen andesit, breksi aliran, aglomerat, lava, dan tuff.

A. Mikrozonasi frekuensi alami tanah (*fo*) dan faktor amplifikasi tanah (A_0) di dusun Patuk

Dari hasil analisis HVSR akan didapatkan nilai frekuensi alami tanah (*fo*) dengan kisanan 1,28 Hz – 9,08 Hz dan faktor ampifikasi (A_0) dengan kisaran 0,9725 – 6,509. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 6. dan selanjutnya akan dibuat mikrozonasinya seperti pada gambar 19 dan gambar 20

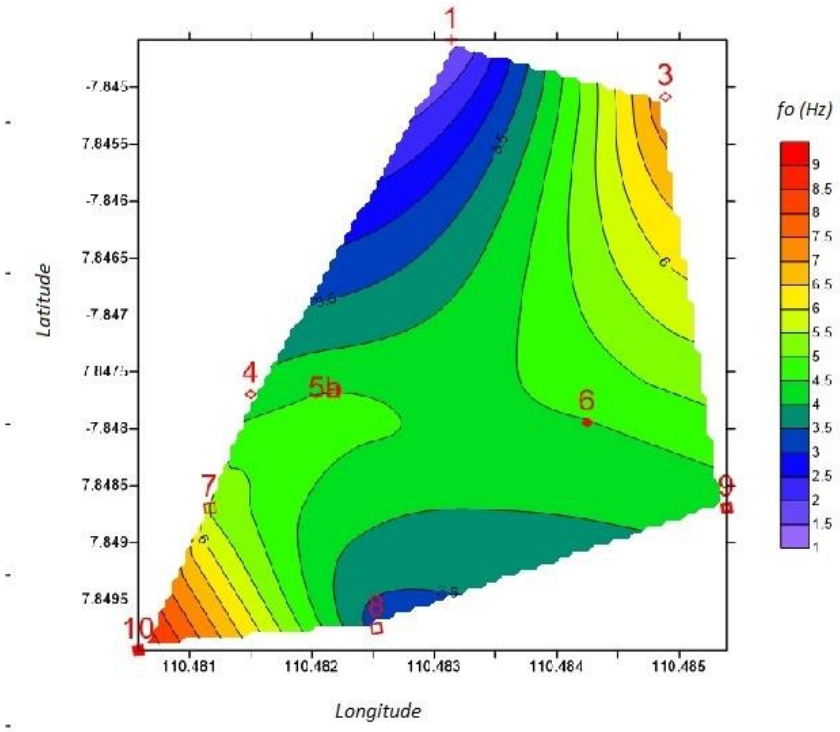
Tabel 7. Hasil frekuensi alami dan faktor amplifikasi tanah

TITIK	AMPLIFIKASI TANAH	NILAI FREKUENSI TANAH (Hz)
1	2,894	1,28
3	6,509	7,48
4	3,465	4,2
5a	5,861	4,72
5b		4,72
6	0,9725	4,48
7	2,567	5,4
8	1,629	3,24
9	6,082	4,2
10	5,918	9,08

Pada tabel 7. terlihat titik 6 mempunyai faktor amplifikasi terendah dengan nilai 0,9725 dan titik 3 mempunyai faktor ampifikasi tertinggi dengan nilai 6,509. Tetapi untuk nilai frekuensi alami tanah terendah ada pada titik 1 dengan nilai 1,28 Hz dan nilai frekuensi alami tanah tertinggi ada pada titik 10 dengan nilai 9,08 Hz. Selanjutnya hasil tersebut divisualisasikan dalam bentuk mikrozonasi masing-masing untuk faktor amplifikasi tanah dan frekuensi alami tanah. Hasil

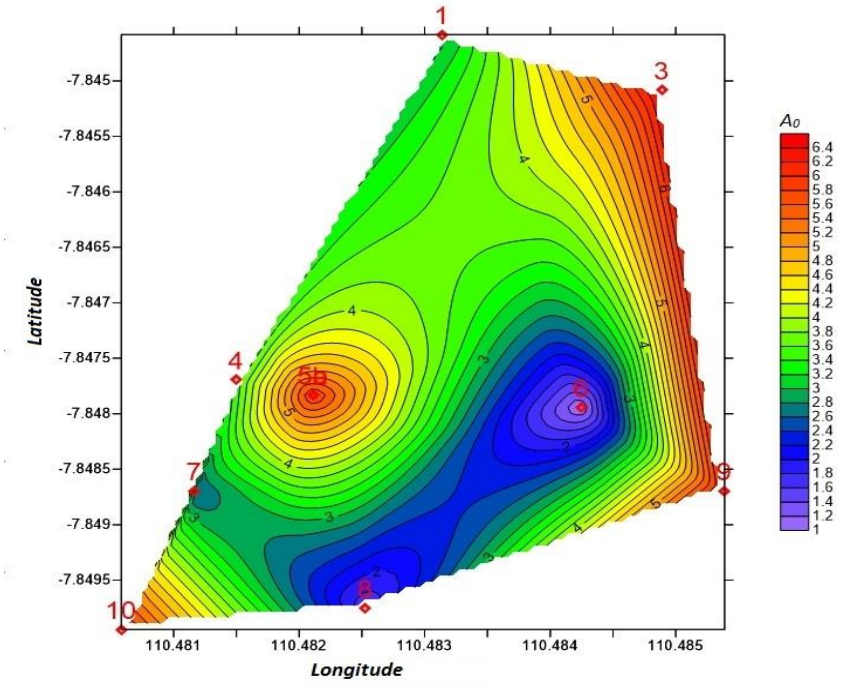
dari mikrozonasi faktor amplifikasi tanah ditunjukkan pada gambar 19 dan hasil mikrozonasi untuk frekuensi ditunjukkan dengan gambar 20.

Sifat-sifat lapisan tanah ditentukan oleh periode dominan tanah (*predominant period*) dari lapisan tanah tersebut bila ada getaran seismik. Nilai periode predominan (T_0) diperoleh dari frekuensi predominan (f_0) dengan f_0 merupakan hasil dari pengukuran mikrotremor pada 11 titik lokasi pengukuran. Peta mikrozonasi frekuensi alami dan faktor amplifikasi ditampilkan pada Gambar 19 dan gambar 20 yang terdiri dari 11 titik tetapi dalam pengambilan data ternyata di titik 2 dan titik 11 tidak terbaca getaranya karena gangguan dari cuaca. Nilai frekuensi alami dan faktor ampifikasi dari rendah ke tinggi ditunjukkan dengan angka dan warna pada skalanya.



Gambar 19 Mikrozonasi frekuensi alami tanah di Dusun Pathuk

Hasil dari mikrozonasi frekuensi alami dari tanah dapat terlihat seperti gambar 19 untuk nilai frekuensi alami terendah ditunjukan dengan warna biru muda dan frekuensi alami tertinggi ditunjukkan oleh warna merah. Nilai frekuensi alami terbesar terdapat di titik 10 dengan nilai 9,08 Hz. Sedangkan nilai frekuensi alami terendah terdapat di titik 1 dengan nilai 1,28 Hz.



Gambar 20 Mikrozonasi amplifikasi tanah di Dusun Pathuk

Hasil dari mikrozonasi amplifikasi dari tanah dapat terlihat seperti gambar 20 untuk amplifikasi terendah ditunjukan dengan warna biru muda dan amplifikasi tertinggi ditunjukkan oleh warna merah. Nilai amplifikasi terbesar terdapat di titik 3 dengan nilai masing-masing 6,509. Sedangkan nilai amplifikasi terendah terdapat di titik 6 dengan nilai 0,9725.

B. Analisis resonansi bangunan di dusun Patuk

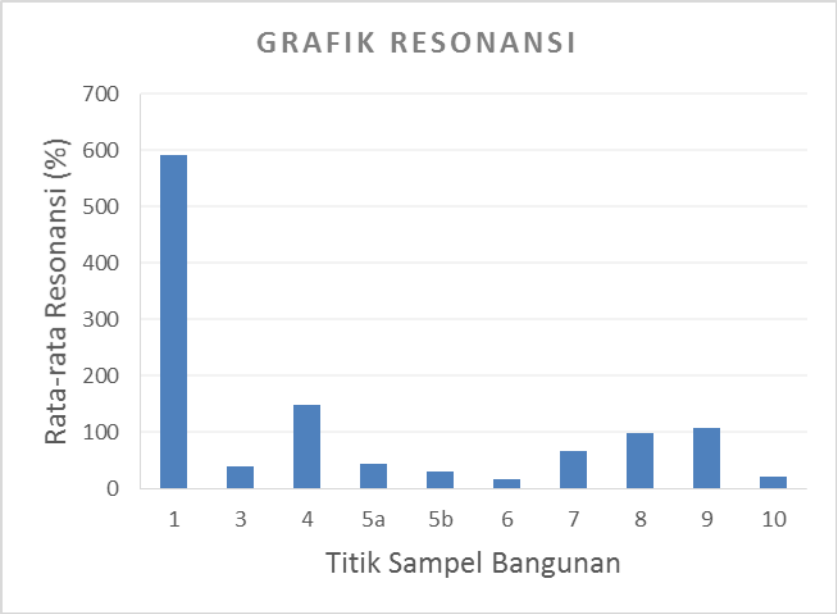
Dalam perhitungan resonansi tanah data yang dibutuhkan adalah frekuensi alami tanah dan frekuensi bangunan. Untuk meganalisis frekuensi bangunan menggunakan analisis H/V. Analisis H/V akan didapatkan dari nilai frekuensi alami bangunan (*fb*) pada setiap komponen EW dan komponen NS. Resonansi merupakan perbandinga selisih antara frekuensi bangunan dengan frekuensi alami tanah dibagi dengan frekuensi tanah seperti pada persamaan (37). Hasil pengukuran dari 11 titik hanya ada 9 titik yang dapat terekam oleh alat mikrotermor. Titik 2 dan 11 pengukuran bangunan tidak dapat terekam karena terkendala cuaca. Jadi hasil resonansi di Dusun Patuk untuk komponen EW berkisar antara 0,20 – 5,91 dan hasil komponen NS berkisar antara 0,12 – 5,91. Sesuai yang direkomendasikan oleh Gosar (2007) , tingkat kerentanan resonansi bangunan terhadap gempa bisa diklasifikasikan menjadi tiga kriteria, yakni: rendah (>±25%), sedang (15 - 25%) dan tinggi (<±15%). untuk hasil resonansinya tampak seperti tabel 8.

Hasil pengolahan dan analisis data mikrotremor didapatkan frekuensi dan faktor amplifikasi tanah, frekuensi dan amplifikasi bangunan, rata-rata resonansi bangunan dan tingkat resonansi terhadap gempa. Tabel 8. menunjukkan resonansi bangunan hasil analisis spektrum komponen horizontal (EW dan NS). Terdapat nilai frekuensi natural bangunan yang kurang stabil pada titik 6 dan 10 sehingga hasil resonansinya sedang.

Tabel 8 Resonansi bangunan di Dusun Patuk

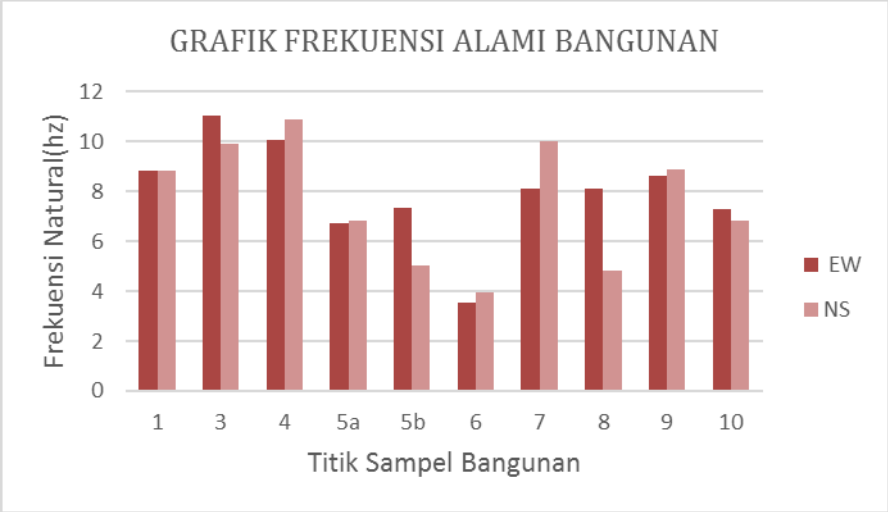
TITIK	NILAI FREKUENSI			RESONANSI (%)		RATA-RATA RESONANSI(%)	KET
	TANAH	EW	NS	EW	NS		
1	1,28	8,84	8,84	590,63	590,63	590,63	RENDAH
3	7,48	11	9,92	47,06	32,62	39,84	RENDAH
4	4,2	10,04	10,88	139,05	159,05	149,05	RENDAH
5a	4,72	6,72	6,8	42,37	44,07	43,22	RENDAH
5b	4,72	7,32	5	55,08	5,93	30,51	RENDAH
6	4,48	3,56	3,96	20,54	11,61	16,07	SEDANG
7	5,4	8,08	10	49,63	85,19	67,41	RENDAH
8	3,24	8,08	4,84	149,38	49,38	99,38	RENDAH
9	4,2	8,6	8,88	104,76	111,43	108,10	RENDAH
10	9,08	7,28	6,84	19,82	24,67	22,25	SEDANG

Hal ini ditandani dengan nilai frekuensi alami tanah dan nilai frekuensi bangunan selisihnya tidak jauh. Karena nilai resonansi tinggi terdapat pada bangunan yang mempunyai frekuensi hampir sama atau bahan sama dengan frekuensi alami dari tanah. Titik yang lain mempunyai resonansi yang rendah karena nilai frekuensi bangunannya jauh berbeda dengan nilai frekuensi alami dari tanah. Hasil pada titik bisa dilihat pada gambar 21.



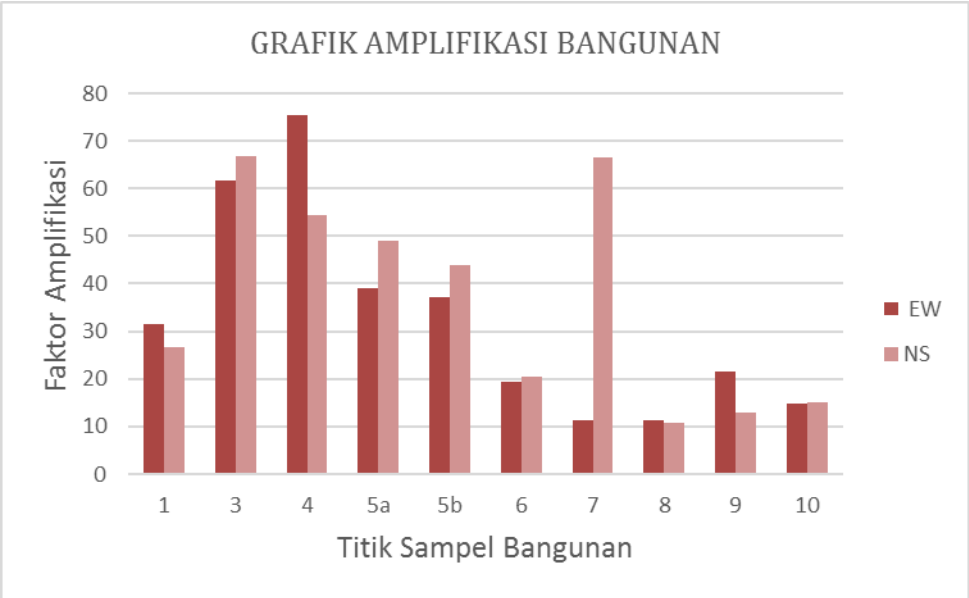
Gambar 21 Grafik hubungan antara letak titik dengan rata-rata resonansi.

Hasil dari grafik 21 terliht di titik 6 dan titik 10 paling rendah artinya disini nilai resonansinya sedang karena menurut Gosar (2007) , untuk titik 6 mempunyai resonansi 16,07% dan titik 10 mempunyai nilai resonansi 22,25 %. Hasil resonansi tersebut masuk dalam kriteria sedang yang menurut Gosar nilainya berkisar 15% - 25%.



Gambar 22 Grafik hubungan antara letak titik dengan frekuensi natural bangunan.

Dari grafik frekuensi alami bangunan terlihat yang nilai frekuensi alami bangunan terendah untuk komponen EW terletak pada titik 6 dengan nilai 3,56 Hz dan komponen NS terletak pada titik 6 dengan nilai 3,96 Hz. Hal ini juga menyebabkan nilai resonansi pada titik 6 masuk pada kategori sedang dengan nilai rata-rata resonansi nya 16,07%. Untuk nilai tertinggi terlihat pada titik 3 komponen EW dengan nilai 11 Hz dan untuk komponen NS tertinggi terdapat pada titik 4 dengan nilai 10,88 Hz. Kedua titik tersebut mempunyi nilai resonansi dengan kategori rendah.



Gambar 23 Grafik hubungan antara letak titik dengan faktor amplifikasi bangunan

Dari grafik amplifikasi bangunan terlihat nilai amplifikasi bangunan terendah untuk komponen EW terletak pada titik 7 dan titik 8 mempunyai amplitudo yang sama dengan nilai 11,27. Untuk nilai tertinggi terlihat pada titik 4

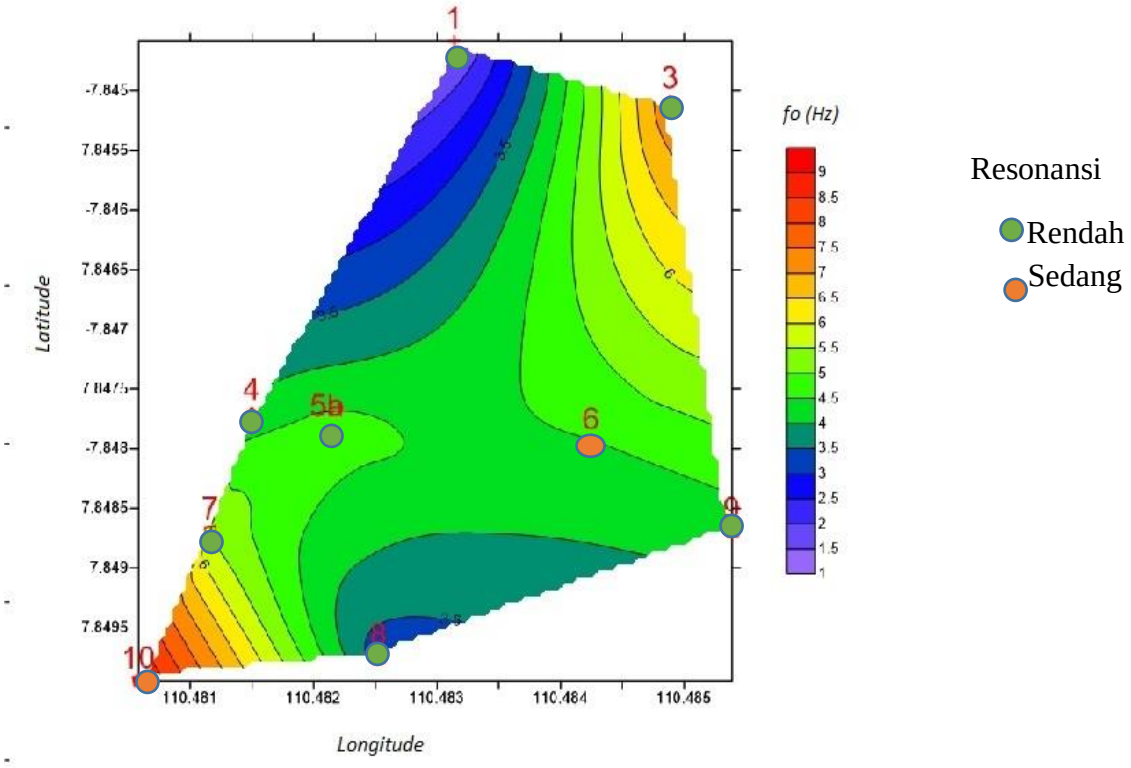
komponen EW dengan nilai 75,4 dan untuk komponen NS tertinggi terdapat pada titik 3 dengan nilai 66,74.

Dari hasil tersebut titik yang mempunyai tingkat kerentanan resonansi sedang yaitu titik 6 dan titik 10 karena mempunyai nilai resonansi lebih dari 25% jadi masuk dalam kerusakan yang rendah bila gempa terjadi. Pada titik 10 bangunan ini merupakan bangunan lama yang sekarang masih ada da digunakan untuk sampel pengukuran. Pada data kerusakan titik 10 mempunyai kerusakan ringan yang hanya terjadi keretakan pada dinding. Tetapi jika rumah dititik 10 terkena gempa akan memiliki tingkat kerentanan resonansi yang sedang dengan nilai resonansi hanya 22,25%.

Sedangkan pada titik 6 bangunan ini bangunan lama dan terjadi rusak berat bahkan rata dengan tanah, tetapi untuk bangunan yang baru juga memiliki tingkat kerentanan resonansi yang sedang dengan nilai 16,07 %. Hal ini terjadi karena frekuensi alami tanah mempunyai nilai yang selisihnya tidak jauh berbeda dari nilai frekuensi untuk komponen EW dan NS. Nilai frekuensi tanah bernilai 4,48 Hz , nilai frekuensi komponen EW 3,56 Hz dan nilai frekuensi komponen NS 3,96 Hz. Untuk bangunan dititik 6 sebaiknya jika pembangunan rumah yang baru perlu konstruksi bangunan yang lebih bagus lagi. Hal ini ditunjukkan pada grafik frekuensi alami bangunan pada titik 6 mempunyai nilai frekuensi paling rendah untuk komponen EW maupun komponen NS.

C. Analisis tingakat kerentanan resonansi

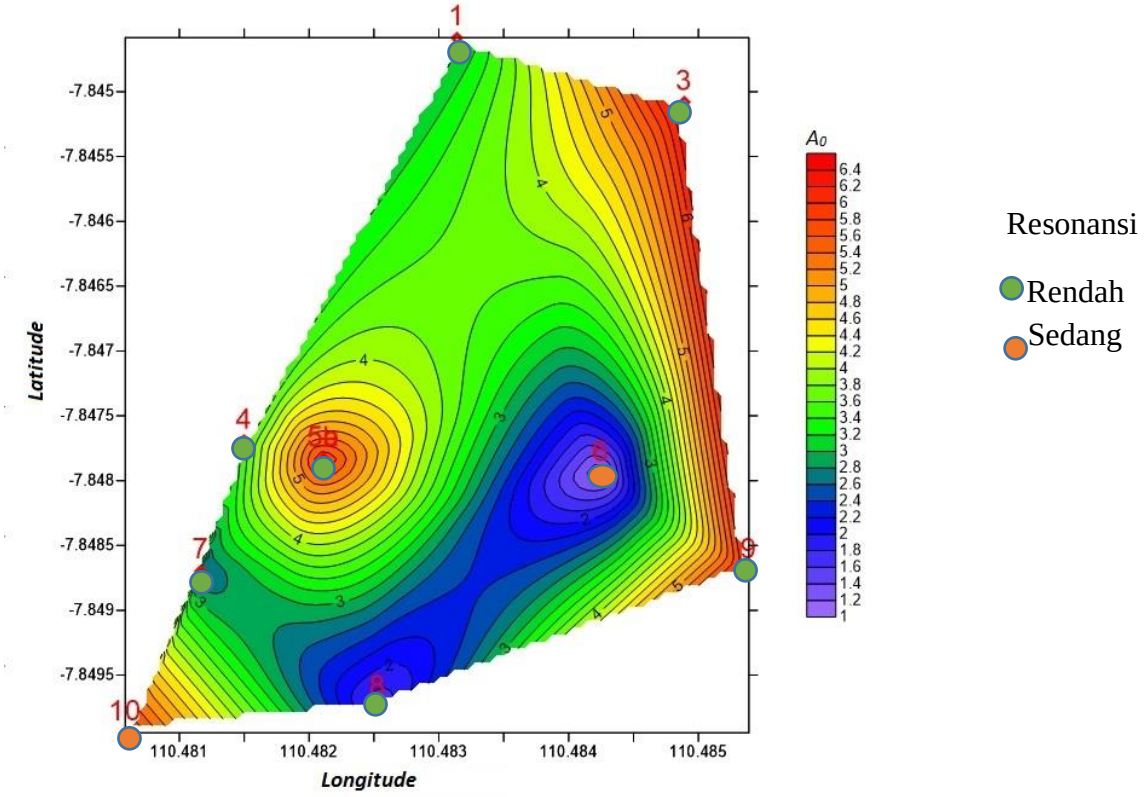
Berdasarkan hasil analisa frekuensi tanah, amplifikasi tanah dan Resonansi bangunan yang telah dilakukan sebelumnya didapatkan peta sebaran frekuensi alami tanah dan resonansi bangunan yang ditunjukkan oleh gambar 24 serta sebaran amplifikasi tanah dan resonansi bangunan yang ditunjukan pada gambar 25



Gambar 24 Mikrozonasi frekuensi alami tanah di Dusun Pathuk

Untuk nilai resonansi ditandani dengan lingkaran bulat warna hijau untuk resonansi rendah dan ornge untuk resonansi sedang. Terlihat bahwa nilai resonansi sedang terdapat pada titik 6 dan titik 10. Titik 6 dengan amplifikasi tanah berwarna hijau bernilai 0,9725 dan titik 10 dengan amplifikasi tanah

berwarna merah bernilai 5,918 . Kedua titik ini nilai frekuensi alaminya sangat berbeda tetapi mempunyai nilai kategori resonansi yang sama yaitu dalam kategori sedang.



Gambar 25 Mikrozonasi amplifikasi tanah di Dusun Pathuk

Sementara pada gambar 25 terlihat bahwa nilai resonansi sedang terdapat pada titik 6 dan titik 10. Titik 6 dengan amplifikasi tanah berwarna hijau bernilai 0,9725 dan titik 10 dengan amplifikasi tanah berwarna merah bernilai 5,918 . Kedua titik ini nilai frekuensi alaminya sangat berbeda tetapi mempunyai nilai kategori resonansi yang sama yaitu dalam kategori sedang.

Dari gambar mikrozonasi (gambar 25) titik yang dianggap paling rentan adalah titik 10 hal ini disebabkan titik 10 berada pada amplifikasi tanah yang

bernilai relatif tinggi jika dibandingkan dengan titik yang lain disekitarnya. Sementara pada titik 6 yang juga memiliki nilai amplifikasi tanah yang relatif rendah sehingga kerentanannya lebih rendah dibandingkan titik 10.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan hasil analisis data dan pembahasan di atas, maka dalam peneitian ini dapat diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Dari hasil analisis HVSR akan didapatkan nilai frekuensi alami tanah (*fo*) dengan kisanan 1,28 Hz – 9,08 Hz dan faktor ampifikasi (A_0) dengan kisaran 0,9725 – 6,509.
2. Hasil rata-rata resonansi untuk komponen EW dan NS di Dusun Patuk berkisar antara 22,25 % - 590,63 %. Sesuai yang direkomendasikan oleh Gosar (2007), tingkat kerentanan resonansi bangunan terhadap gempa bisa diklasifikasikan menjadi tiga kriteria, yakni: rendah (>±25%), sedang (15 - 25%) dan tinggi (<±15%). Dari hasil perhitungan resonansi titik 6 dan titik 10 mempunyai tingkat kerentanan resonansi yang sedang.
3. Dari hasil analisis yang diperoleh dengan menggunakan mikrozonasi, titik yang dianggap paling rentan adalah titik 10. Hal ini dikarenakan titik 10 berada pada amplifikasi tanah yang bernilai relatif tinggi. Jika dibandingkan dengan titik yang lain disekitarnya. Sementara pada titik 6

yang juga memiliki tingkat resonansi sedang seperti halnya titik 10, memiliki nilai amplifikasi tanah yang relatif rendah. Sehingga kerentanannya lebih rendah dibandingkan titik 10.

B. Saran

Setelah terselesaikannya penelitian ini, terdapat saran yang perlu diperhatikan bagi peneliti selanjutnya. Untuk penelitian selanjutnya disarankan melanjutkan penelitian resonansi bangunan di Dusun Ngandong yang terletak sebelah utara Dusun Patuk dan Desa Salam yang terletak sebelah selatan Dusun Patuk dengan pengambilan titik pengukuran menggunakan metode *grid*. Dusun Ngandong dan Desa Salam juga memiliki tingkat kerusakan yang parah akibat gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Koordinasi Nasional Penanggulangan Bencana dan Penanganan Pengungsi. (2006). *Laporan Perkembangan Penanganan Bencana Gempa Bumi Di Jogjakarta Dan Jawa Tengah*. Jakarta: BAKORNAS PBP.

Bappenas. 2006. *Penilaian Awal dan Kerusakan Bencana Alam di Yogyakarta dan Jawa Tengah*. Public Disclousure Authorized.

BMKG, 2014. *Gempabumi*. Diakses dari http://www.bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Gempabumi_-_Tsunami/Gempabumi.bmkg pada tanggal 20 November 2015.

Bock, Y., L. Prawirodirdjo, J.F. Genrich, C.W. Stevens, R. McCaffrey, C. Subarya, S.S.O. Puntodewo, dan E. Calais. 2003. Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements. *Journal of Geophysical Research* 108 No. B8 2367

Daryono dkk. (2009). *Data Mikrotremor dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempabumi*. Yogyakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Wiley. Hongkong

ESDM. (2009). *Gempa di Indonesia Akibat Interaksi Lempeng Utama Dunia*. Diakses dari http://www.esdm.go.id/berita/geologi/42-geologi/2849-gempa-di-indonesia-akibat-interaksi-lempeng-utama-dunia-.html, pada tanggal 27 Januari 2015.

Ettwein.V and Maslin.M. 2011. Physical Geography: *Fundamentals Of The Physical Environment*. London : University of London International Programmes

Gosar, A. 2010. Site effects and Soil-Structure Resonance Study in The Kobarid Basin (NW Slovenia) Using Microtremor. Geofizika, vol.28 2011

Gosar, A. 2007. Microtremor HVSR Study for Assessing Site Effects in the Bovec Basin (NW Slovenia) Related to 1998 Mw 5.6 and 2004 Mw 5.2 Earthquake. ELSEIVER Engineering Gelogy 91 (2007) 178-193

Hendry, J. (2012). *Signal Processing "Fourier Transform"*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Hidayat, Risanuri. (2009). *Deret dan Transformasi Fourier*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
Vol. 6, No. 3,p. 143 – 156, 13 figs., 1 tab.

Kayal, J.R. (2008). *Chapter 2 Earthquakes and Seismic Waves of Microearthquake Seismology And Seismotectonics Of South Asia*. New Mexico: Springer.

Lermo, Javier & Chávez-García, Francisco J. (1993). Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios with Only One Station. *America: Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 83, No. 5.* Hlm. 1574-1594.

Mirzaoglu, Mete. and Dýkmen, Ünal. 2003. *Application of microtremors to seismic microzoning procedure.* Balkan: Jornal of the Balkan Geophysical, Vol. 6, No. 3,p. 143 – 156, 13 figs., 1 tab.

Nakamura, Y. 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*. Japan: Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30, No.1.

Nakamura, Y. 1997. *Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor*. Florence: World Congress on Railway Research.

Nakamura, Y. (2000). *Clear Indentification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application*. Japan: Tokyo University.

Puslitbang Permukiman. (2013). *Panduan Praktis Pemeriksaan Kerusakan Bangunan Akibat Gempabumi.* Bandung: Kementrian Pekerjaan Umum.

SESAME European Research Project. (2004). *Guidelines for The Implementation of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibration: Measurements, Processing and Interpretation.*

Smith, Steven W. (1997). *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. San Diego: University of Utah.

TAIDE. 2010. *TDV-23S feedback short-period seismometer operator's manual.* China: Zhuhai TAIDE Enterprise Co., Ltd.

Toha B. et al. (1996). Geologi Daerah Pegunungan Selatan Suatu Kontribusi. *Prosiding* Geologi dan Geoteknik Pulau Jawa ISBN : 792-8611-00-4.

Warnana, D., Desa. Triwulan. Sungkono. W, Utama. 2011. *Assessment to the Soil Structure Resonance Using Microtremor Analysis on Pare-East Java*, Indonesia. ATE ISSN: 2221-4267 Vol.01 Issue 04.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Rumah Rusak Akibat Gempabumi Yogyakarta 27 Mei 2006.

Lampiran 2 Data kerusakan yang didapatkan dari wawancara dengan warga sekitar

TITIK	KETERANGAN RUMAH	JENIS RUMAH	KLASIFIKASI KERUSAKAN RUMAH LAMA
1	Rumah Bp. Puryadi	Semi Permanen	Rusak Berat
3	Rumah Bp. Basrinurdin	Permanen	Rusak Sedang pada belakang rumahnya
4	Kantor Kecamatan Patuk Lama	Permanen	Rusak Berat
5a 5b	Rumah Bp. Sigit Bintoro (Bangunan 2 lantai).	Permanen	Rusak Berat rata dengan tanah
6	Rumah Bp. Indro Sumarto	Permanen	Rusak Berat
7	Rumah Ibu Rudiyem.	Permanen	Rusak Sedang
8	Rumah Bp. Tatang Darmono.	Permanen	Rusak Berat
9	Rumah Bp. Dalyo	Permanen	Rusak Sedang padahal rumah tetangganya roboh
10	Toko Busana Griya Aryanti	Permanen (Bangunan Lama)	Rusak Ringan, dinding retak

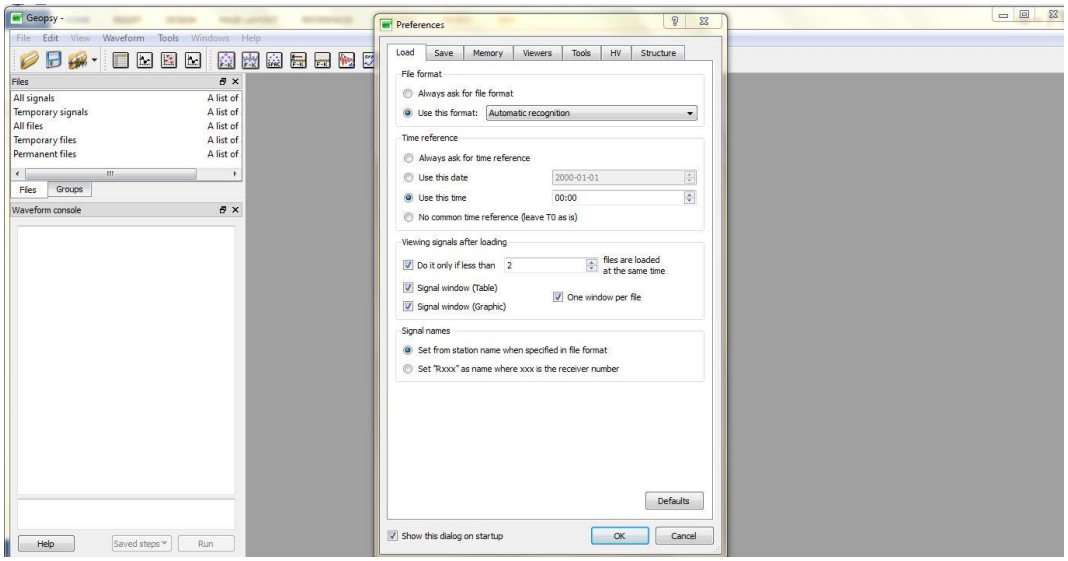
Lampiran 3 Data hasil Penelitian

TITIK	KETERANGAN RUMAH	KOORDINAT		AMPLIFIKASI TANAH	NILAI FREKUENSI MATLAB			NILAI AMPLIFIKASI BANGUNAN		RESONANSI		RESONANSI (%)		RATA-RATA (%)	KET
					TANAH	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS		
1	Rumah Bp. Puryadi	-7,844583333	110,483139	2,894	1,28	8,84	8,84	31,42	26,67	5,91	5,91	590,63	590,63	590,63	RENDAH
3	Rumah Bp. Basrinurdin	-7,845083333	110,484889	6,509	7,48	11	9,92	61,71	66,74	0,47	0,33	47,06	32,62	39,84	RENDAH
4	Kantor Kecamatan Patuk Lama	-7,847694444	110,4815	3,465	4,2	10,04	10,88	75,4	54,43	1,39	1,59	139,05	159,05	149,05	RENDAH
5a	Rumah Bp. Sigit Bintoro (Bangunan 2 lantai).	-7,847833333	110,482111	5,861	4,72	6,72	6,8	39,18	49,03	0,42	0,44	42,37	44,07	43,22	RENDAH
5b		-7,847833333	110,482111		4,72	7,32	5	37,17	43,98	0,55	0,06	55,08	5,93	30,51	RENDAH
6	Rumah Bp. Indro Sumarto	-7,847944444	110,48425	0,9725	4,48	3,56	3,96	19,45	20,55	0,21	0,12	20,54	11,61	16,07	SEDANG
7	Rumah Ibu Rudiyem.	-7,848694444	110,481167	2,567	5,4	8,08	10	11,27	66,66	0,50	0,85	49,63	85,19	67,41	RENDAH
8	Rumah Bp. Tatang Darmono.	-7,84975	110,482528	1,629	3,24	8,08	4,84	11,27	10,9	1,49	0,49	149,38	49,38	99,38	RENDAH
9	Rumah Bp. Dalyo	-7,848694444	110,485389	6,082	4,2	8,6	8,88	21,5	12,97	1,05	1,11	104,76	111,43	108,10	RENDAH
10	Toko Busana Griya Aryanti	-7,849944444	110,480583	5,918	9,08	7,28	6,84	14,77	15,19	0,20	0,25	19,82	24,67	22,25	SEDANG

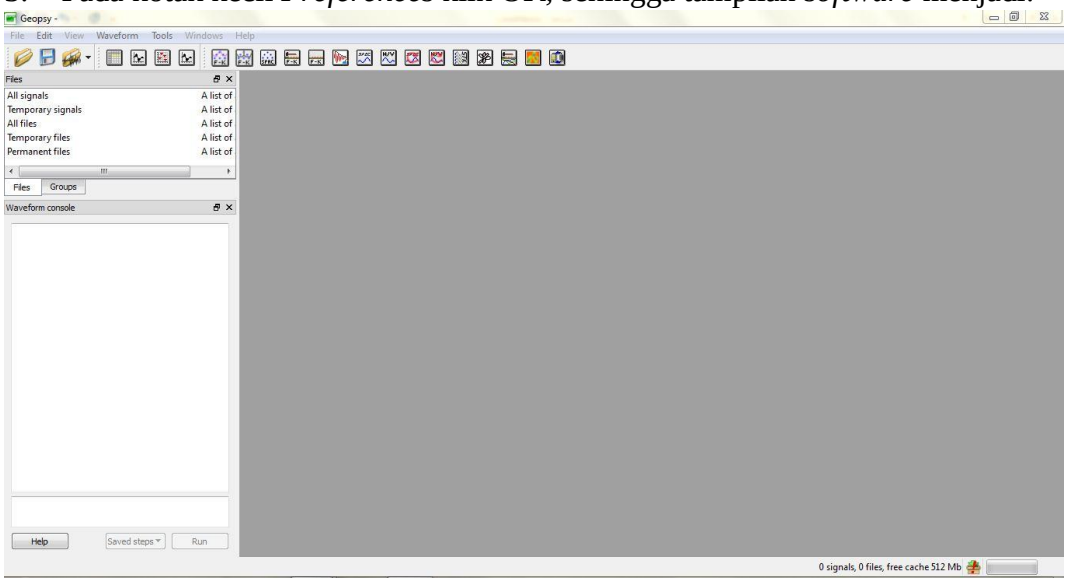
Lampiran 4 Analisis Mikrotremor dengan *software* Sassaray-Geopsy

Langkah-langkah analisis mikrotremor menggunakan metode HVSR dengan bantuan *software* Sassaray-Geopsy adalah sebagai berikut:

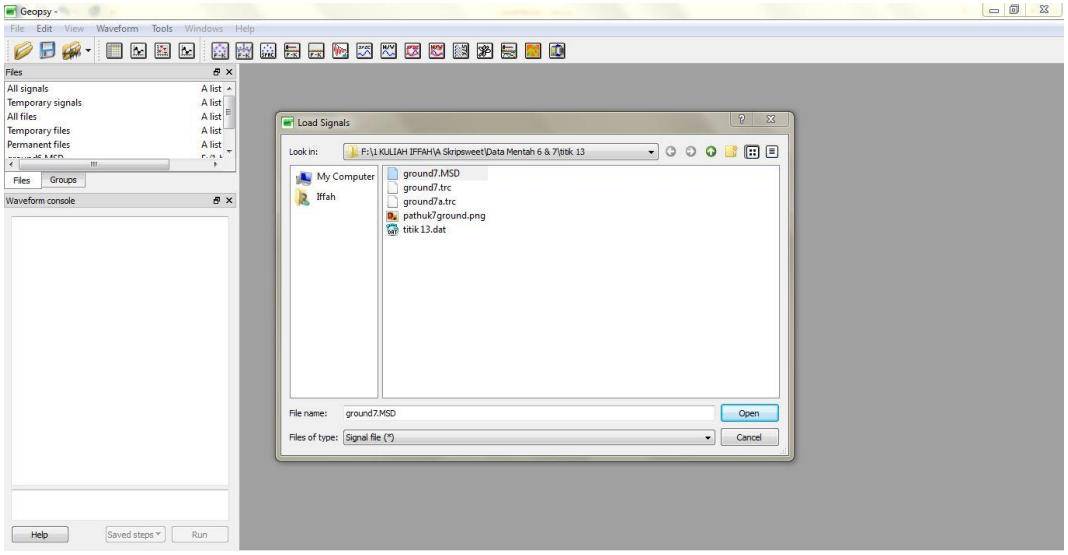
1. Mengolah data mentah hasil pengukuran mikrotremor menggunakan *software* DATAPRO untuk diubah ke dalam format MINI SEED (.msd).
2. Membuka aplikasi *software* Sassaray-Geopsy, maka akan muncul:



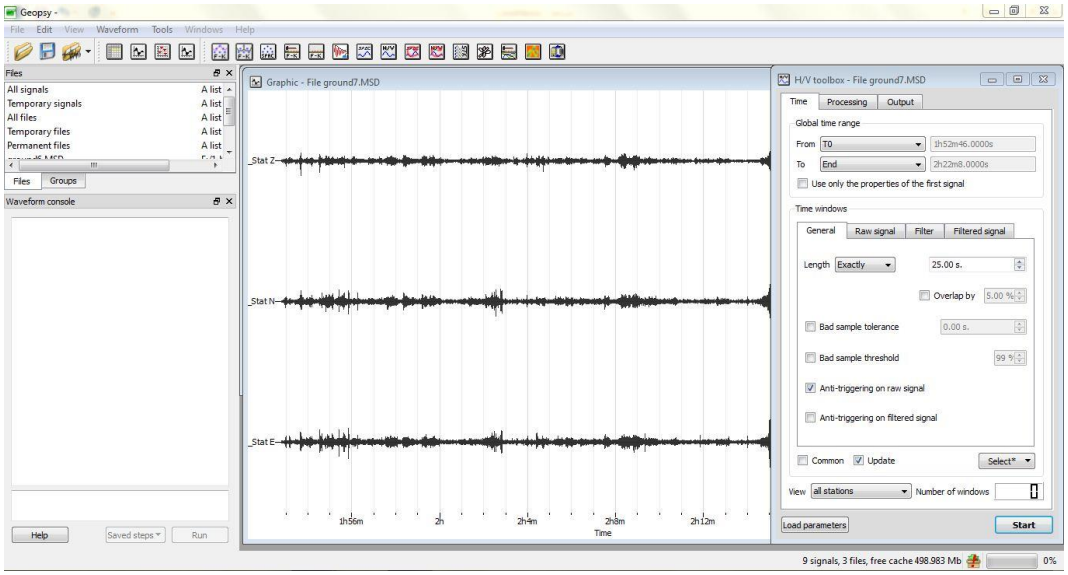
3. Pada kotak kecil *Preferences* klik OK, sehingga tampilan *software* menjadi:



4. Klik *import signals*, pilih *file* dalam format MINI SEED (.msd) kemudian klik *Open*.

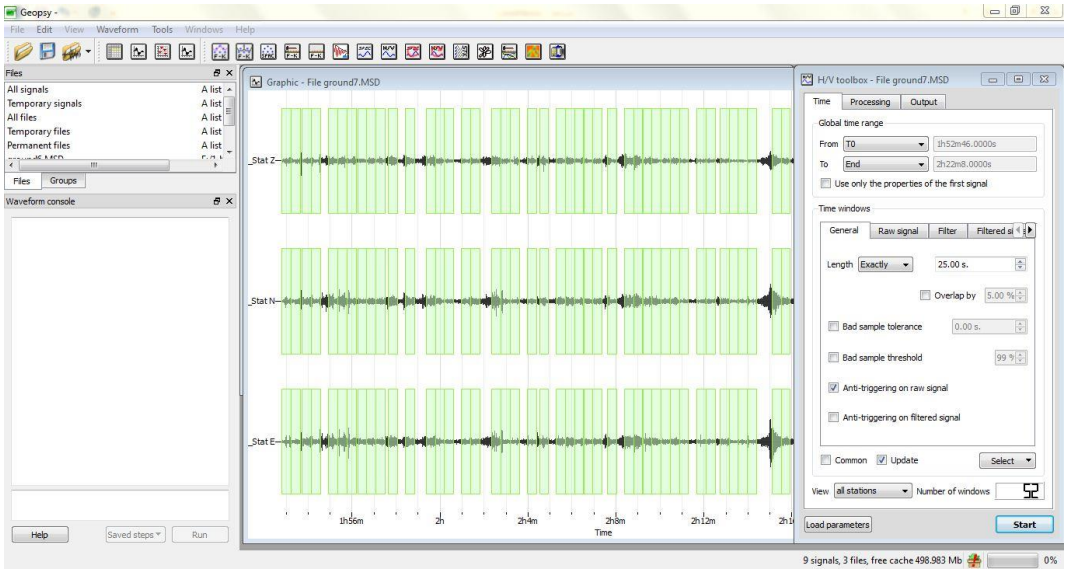


5. Klik *icon* H/V yang tertera pada *toolbox software*, maka akan muncul H/V *toolbox*.



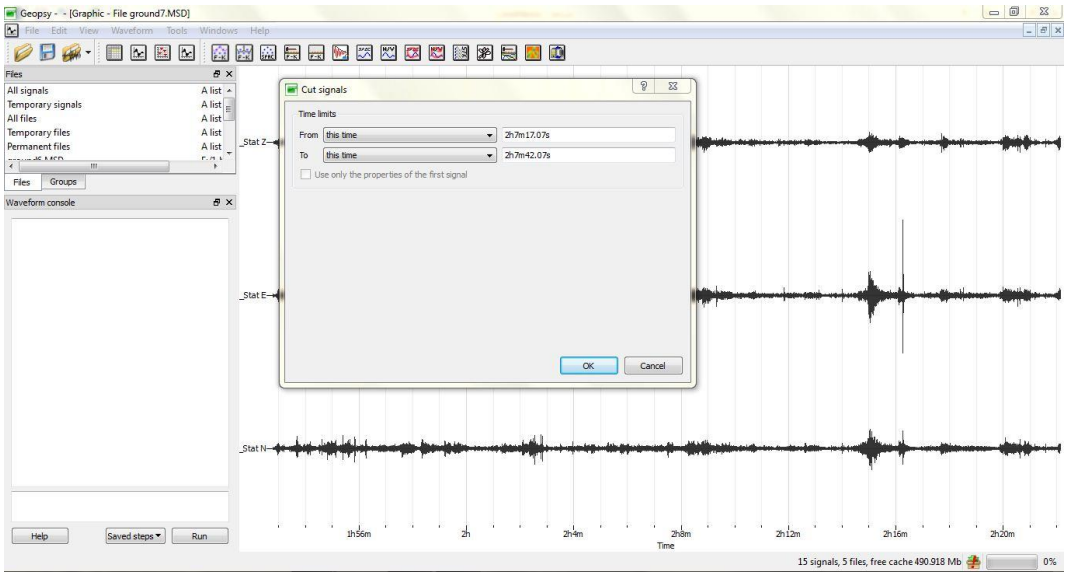
6. Pada kotak H/V *toolbox* terdapat pilihan *Time*, *Processing*, dan *Output*. Untuk *Processing* pilih *smoothing type* Konno & Ohmachi sedang untuk *Horizontal component* pilih *Square average*. Untuk *Output* atur *Frequency sampling* 0.50

Hz sampai 15.00 Hz dengan *Number of samples* 375. Untuk *Time* pilih pengaturan *length windows* 25.00 s dan pilih *add* untuk melakukan pemilihan sinyal tanpa *noise* yang digunakan saat analisis menggunakan MATLAB R2010a. Kemudian jumlah sinyal yang dipilih akan tertera pada *Number of windows*.

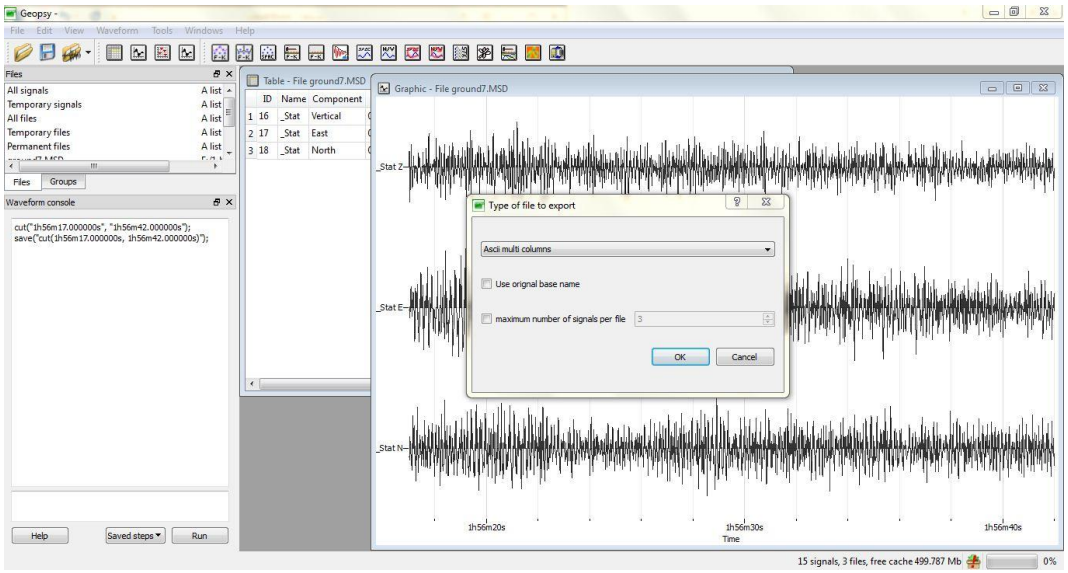


7. Pada masing-masing *window* menunjukkan durasi waktu 25 s, untuk mengetahui waktu pertama pada masing-masing *window* yang menunjukkan pada detik ke-*n* dari seluruh waktu perekaman mikrotremor, klik kanan pilih *zoom* lalu perbesar area pojok kiri bawah pada panjang *window* hingga garis waktu berada tegak lurus terhadap pojok kiri panjang *window*, maka akan muncul waktu pertama dari *window* yang dipilih sebagai sinyal tanpa *noise*.

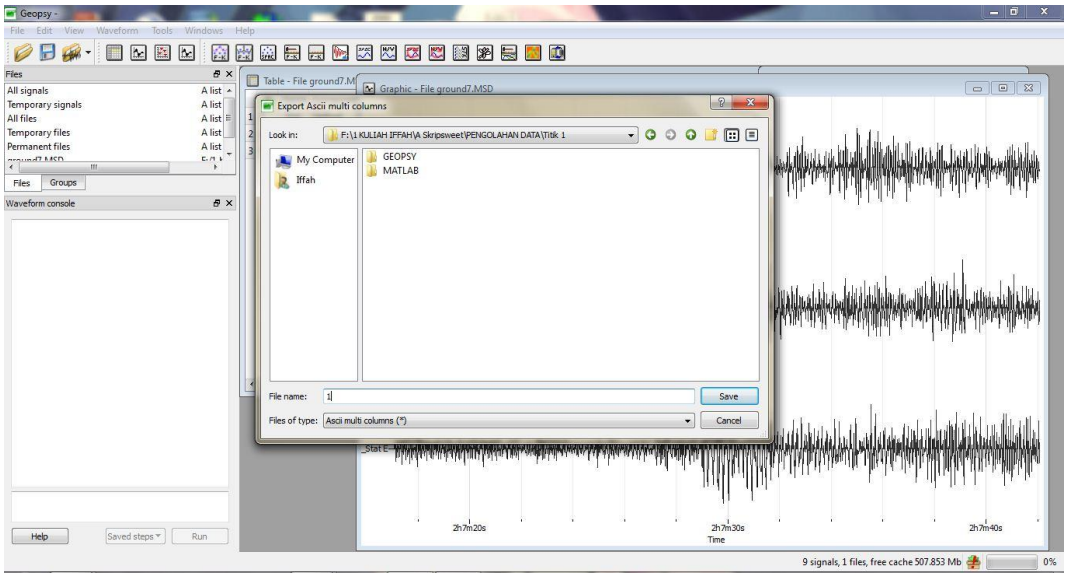
8. Mencatat waktu pertama dari masing-masing *window* kemudian menutup aplikasi *software* Sassaray-Geopsy.
9. Mengulangi langkah ke-2 sampai langkah ke-5 kemudian klik *Waveform* pilih *cut*. Pada kotak kecil *Cut signals* pilih *this time* pada *Time limits From* ketik waktu pertama *window* tersebut kemudian jumlahkan waktu pertama dengan 25 detik. Hasil penjumlahan tersebut diketik pada *Time limits To* sebagai waktu akir *window* tersebut, kemudian klik OK.



10. Untuk menyimpan hasil *cut* gelombang setiap *window* ke dalam format text (.txt), klik *file* pilih *export*. Pada kotak kecil *Type of file to export* pilih format Ascii multi columns lalu klik OK.



11. Pada kotak kecil *Export Ascii multi columns* pilih lokasi penyimpanan lalu ketik nama *file* “1” yang menunjukkan *window* ke-1, klik *save*.

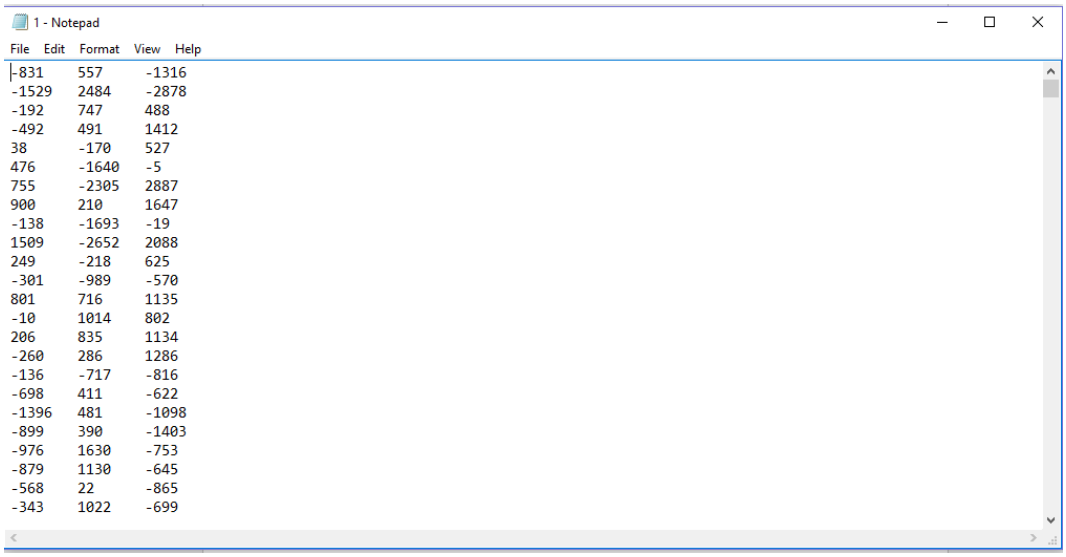


12. Proses ini dilakukan untuk semua hasil pengukuran yang dilakukan di setiap titik lokasi penelitian.

Lampiran 5 Analisis Mikrotremor untuk HVSRdengan Software MATLAB R2010a.

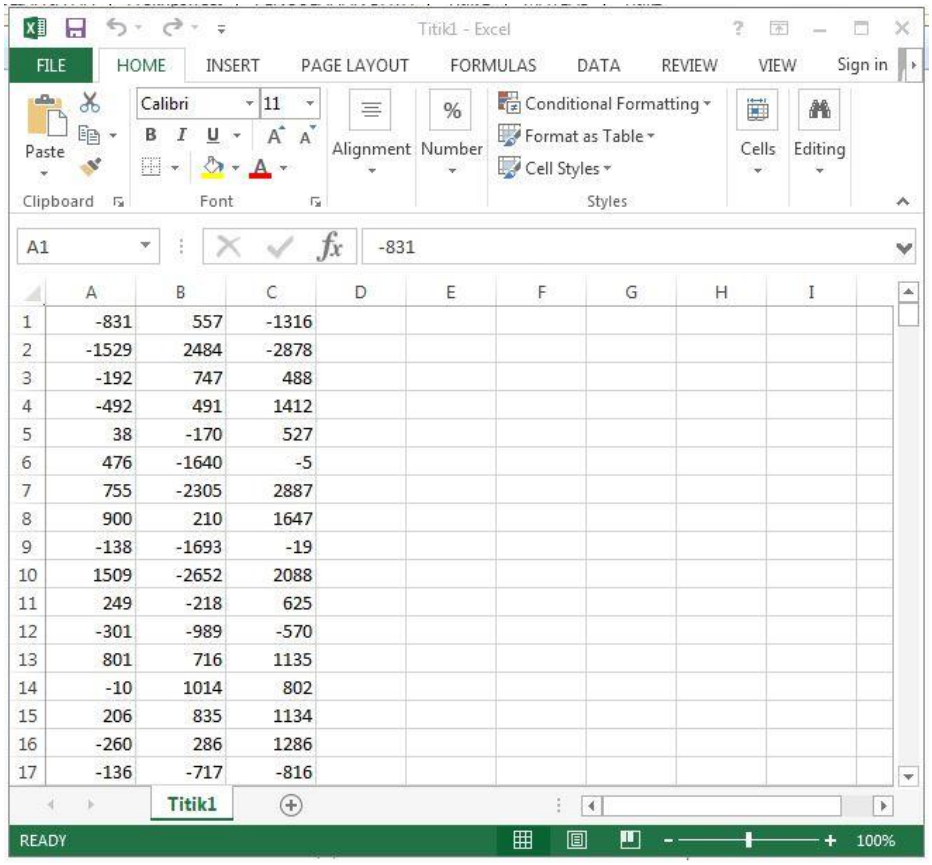
Langkah-langkah analisis mikrotremor menggunakan metode HVSR dengan bantuan *software* MATLAB R2010a adalah sebagai berikut:

1. Menggabungkan beberapa data mentah hasil *cut* gelombang atau *window* dalam format text (.text) terlebih dahulu dengan menggunakan Notepad
2. Buka satu persatu data gelombang yang sudah di cut mengunakan Notepad lalu diblok , pilih edit lalu copy



-831	557	-1316
-1529	2484	-2878
-192	747	488
-492	491	1412
38	-170	527
476	-1640	-5
755	-2305	2887
900	210	1647
-138	-1693	-19
1509	-2652	2088
249	-218	625
-301	-989	-570
801	716	1135
-10	1014	802
206	835	1134
-260	286	1286
-136	-717	-816
-698	411	-622
-1396	481	-1098
-899	390	-1403
-976	1630	-753
-879	1130	-645
-568	22	-865
-343	1022	-699

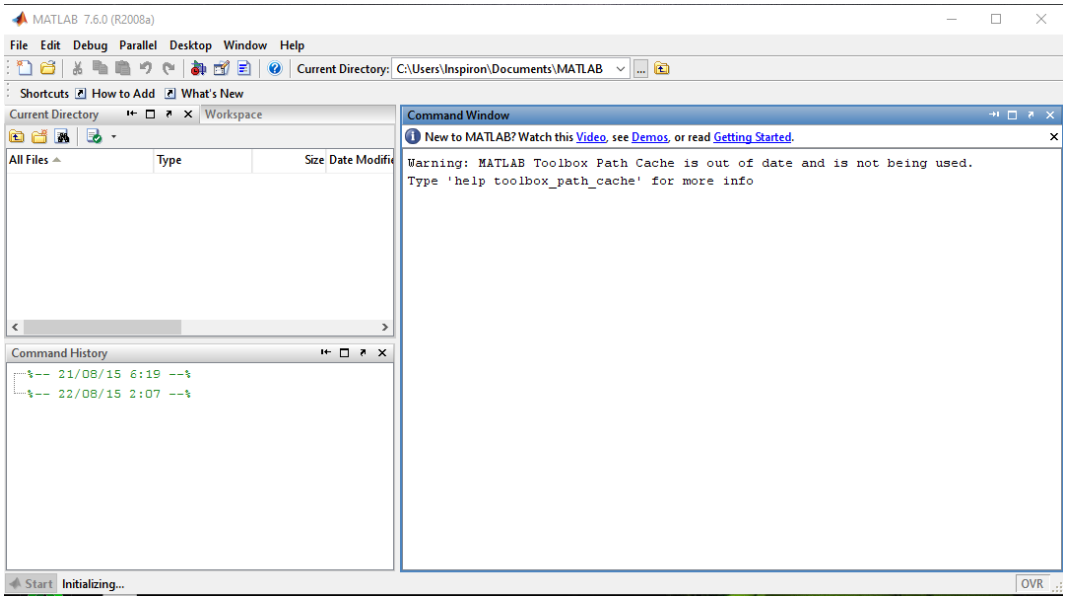
3. Kemudian bukalah Ms. Excel dan pilih paste pada Ms. Excel (lakuksn lsngkah tersebut untuk semua data cut gelombang pada titik tersebut)



	A	B	C
1	-831	557	-1316
2	-1529	2484	-2878
3	-192	747	488
4	-492	491	1412
5	38	-170	527
6	476	-1640	-5
7	755	-2305	2887
8	900	210	1647
9	-138	-1693	-19
10	1509	-2652	2088
11	249	-218	625
12	-301	-989	-570
13	801	716	1135
14	-10	1014	802
15	206	835	1134
16	-260	286	1286
17	-136	-717	-816

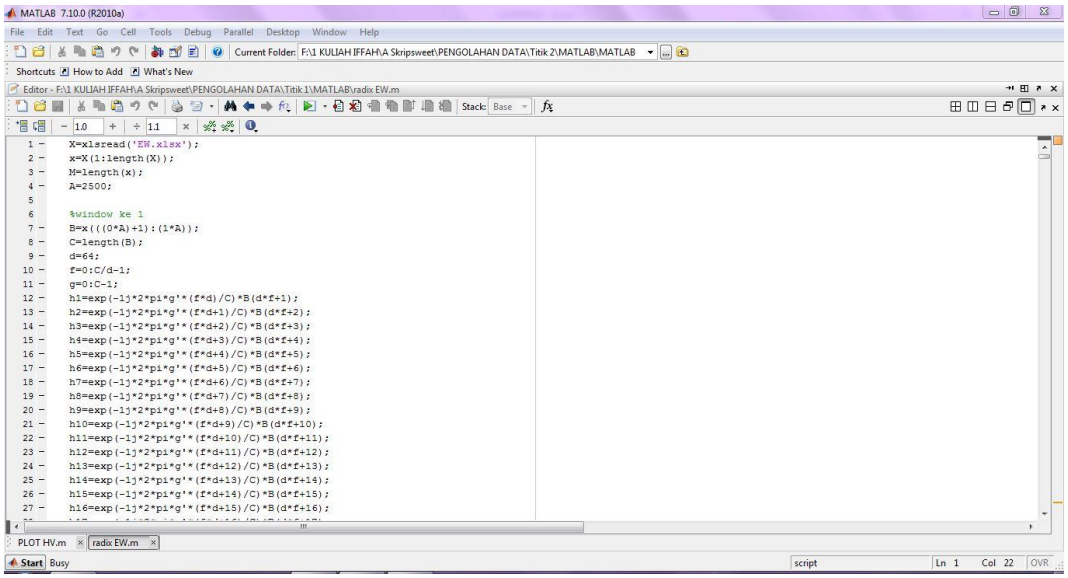
4. Pada kolom A menunjukkan *file* data SHZ, pada kolom B menunjukkan *file* data SHN, dan pada kolom menunjukkan *file* data SHE, kemudian membuat data mikrotremor yang tadinya hanya pada satu *file* saja menjadi tiga *file* sehingga 2 komponen horizontal terpisah dengan komponen vertikal. Simpan *file* dengan format EW.xlsx untuk komponen *East-West*, NS.xlsx untuk komponen *North-South*, dan V.xlsx untuk komponen vertikal.

5. Membuka *sofware* MATLAB R2010a, maka akan muncul:

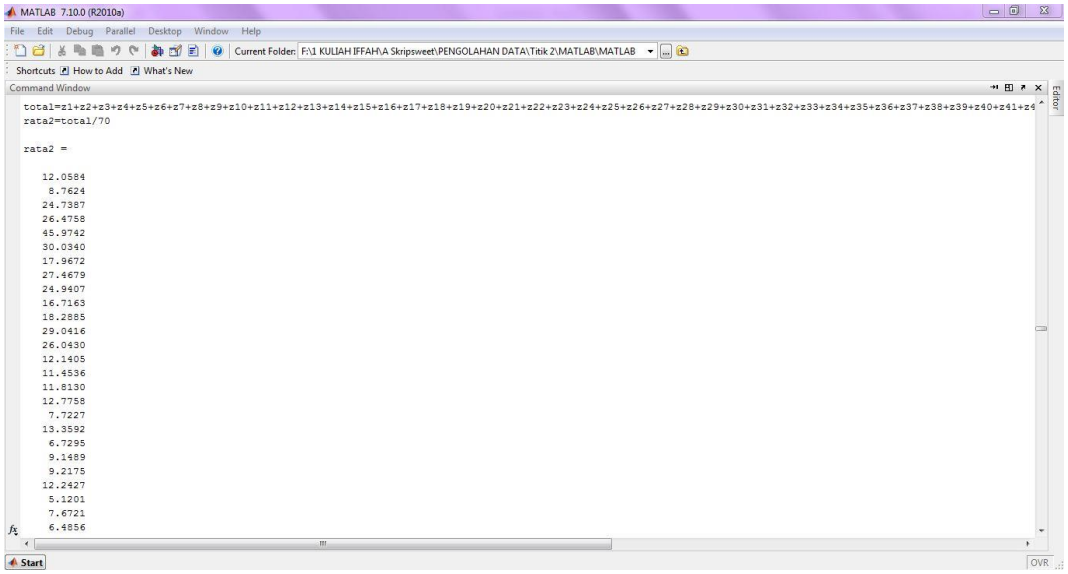


6. Klik menu *open file* lalu buka *file radix*

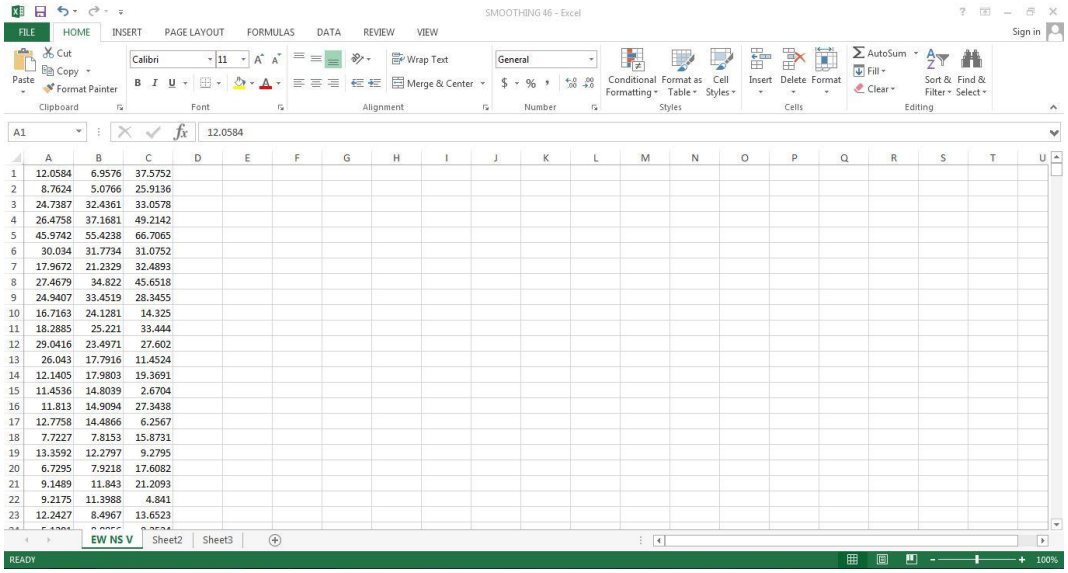
7. Menganalisis tiap komponen dengan cara FFT menggunakan program *radix.*



8. Kemudian klik Run Radix, maka pada *Command Window* akan muncul nilai hasil FFT menggunakan *radix.*

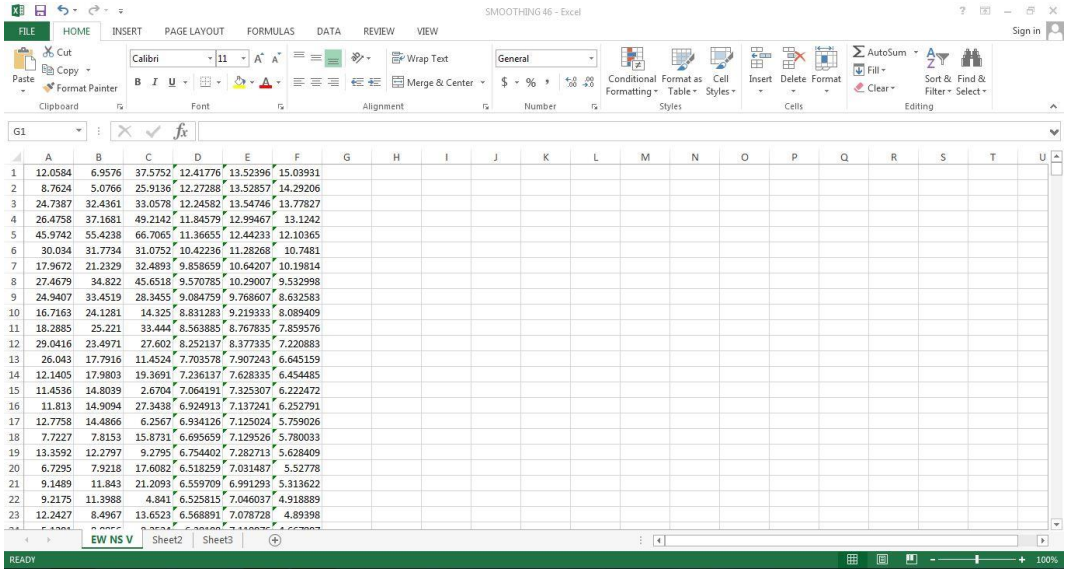


9. Lalu *copy* nilai hasil FFT semua komponen tersebut dan *paste* ke dalam satu *file* Excell yang baru sehingga akan menjadi:



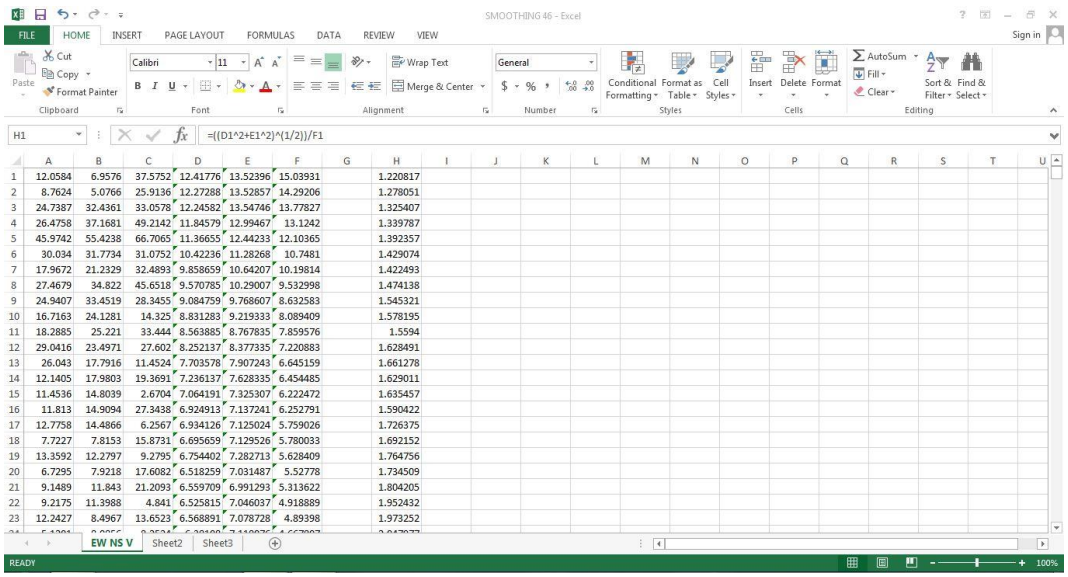
	A	B	C
1	12.0584	6.9576	37.5752
2	8.7624	5.0766	25.9136
3	24.7387	32.4361	33.0578
4	26.4758	37.1681	49.2142
5	45.9742	55.4238	66.7065
6	30.034	31.7734	31.0752
7	17.9672	21.2329	32.4893
8	27.4679	34.822	45.6518
9	24.9407	33.4519	28.3455
10	16.7163	24.1281	14.325
11	18.2885	25.221	33.444
12	29.0416	23.4971	27.602
13	26.043	17.7916	11.4524
14	12.1405	17.9803	19.3691
15	11.4536	14.8039	2.6704
16	11.813	14.9094	27.3438
17	12.7758	14.4866	6.2567
18	7.7227	7.8153	15.8731
19	13.3592	12.2797	9.2795
20	6.7295	7.9218	17.6082
21	9.1489	11.843	21.2093
22	9.2175	11.3988	4.841
23	12.2427	8.4967	13.6523

10. Kemudian dilakukan proses penghalusan data (*smoothing*) menggunakan *Moving Average* dengan persmaan $y[i] = \frac{1}{M}\sum_{j=0}^{M-1} x\,[i+j]$



	A	B	C	D	E	F
1	12.0584	6.9576	37.5752	12.41776	13.52396	15.03931
2	8.7624	5.0766	25.9136	12.27288	13.52857	14.29206
3	24.7387	32.4361	33.0578	12.24582	13.54746	13.77827
4	26.4758	37.1681	49.2142	11.84579	12.99467	13.1242
5	45.9742	55.4238	66.7065	11.36655	12.44233	12.10365
6	30.034	31.7734	31.0752	10.42236	11.28268	10.7481
7	17.9672	21.2329	32.4893	9.858659	10.64207	10.19814
8	27.4679	34.822	45.6518	9.570785	10.29007	9.532998
9	24.9407	33.4519	28.3455	9.084759	9.768607	8.632583
10	16.7163	24.1281	14.325	8.831283	9.219333	8.089409
11	18.2885	25.221	33.444	8.563885	8.767835	7.859576
12	29.0416	23.4971	27.602	8.252137	8.377335	7.220883
13	26.043	17.7916	11.4524	7.703578	7.907243	6.645159
14	12.1405	17.9803	19.3691	7.236137	7.628335	6.454485
15	11.4536	14.8039	2.6704	7.064191	7.325307	6.222472
16	11.813	14.9094	27.3438	6.924913	7.137241	6.252791
17	12.7758	14.4866	6.2567	6.934126	7.125024	5.759026
18	7.7227	7.8153	15.8731	6.695659	7.129526	5.780033
19	13.3592	12.2797	9.2795	6.754402	7.282713	5.628409
20	6.7295	7.9218	17.6082	6.518259	7.031487	5.52778
21	9.1489	11.843	21.2093	6.559709	6.991293	5.313622
22	9.2175	11.3988	4.841	6.525815	7.046037	4.918889
23	12.2427	8.4967	13.6523	6.568891	7.078728	4.89398

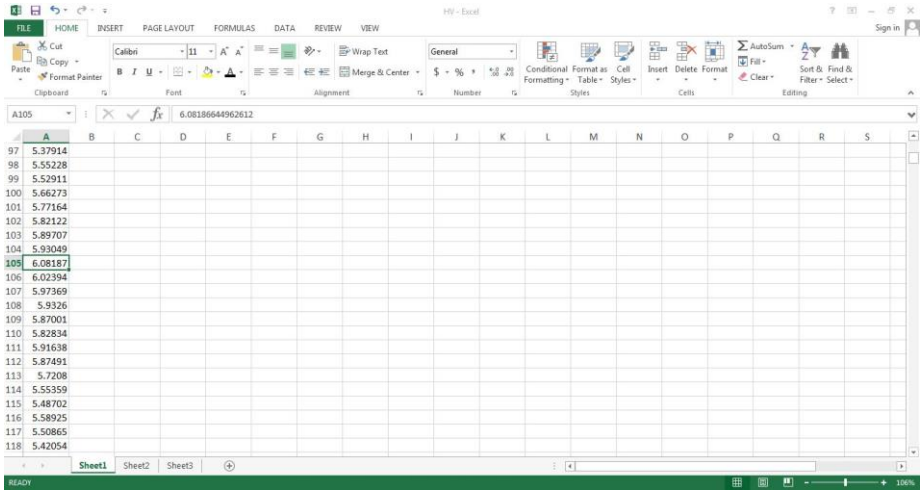
11. Kemudian untuk mendapatkan nilai HVSR dengan menggunakan persamaan $HVSR = \frac{(\sqrt{[(EW)^2+(NS)^2]})/2}{V}$ sehingga didapatkan:



	A	B	C	D	E	F	H
1	12.0584	6.9576	37.5752	12.41776	13.52396	15.03931	1.220817
2	8.7624	5.0766	25.9136	12.27288	13.52857	14.29206	1.278051
3	24.7387	32.4361	33.0578	12.24582	13.54746	13.77827	1.325407
4	26.4758	37.1681	49.2142	11.84579	12.99467	13.1242	1.339787
5	45.9742	55.4238	66.7065	11.36655	12.44233	12.10365	1.392357
6	30.034	31.7734	31.0752	10.42236	11.28268	10.7481	1.429074
7	17.9672	21.2329	32.4893	9.858659	10.64207	10.19814	1.422493
8	27.4679	34.822	45.6518	9.570785	10.29007	9.532998	1.474138
9	24.9407	33.4519	28.3455	9.084759	9.768607	8.632583	1.545321
10	16.7163	24.1281	14.325	8.831283	9.219333	8.089409	1.578195
11	18.2885	25.221	33.444	8.563885	8.767835	7.859576	1.5594
12	29.0416	23.4971	27.602	8.252137	8.377335	7.220883	1.628491
13	26.043	17.7916	11.4524	7.703578	7.907243	6.645159	1.661278
14	12.1405	17.9803	19.3691	7.236137	7.628335	6.454485	1.629011
15	11.4536	14.8039	2.6704	7.064191	7.325307	6.222472	1.635457
16	11.813	14.9094	27.3438	6.924913	7.137241	6.252791	1.590422
17	12.7758	14.4866	6.2567	6.934126	7.125024	5.759026	1.726375
18	7.7227	7.8153	15.8731	6.695659	7.129526	5.780033	1.692152
19	13.3592	12.2797	9.2795	6.754402	7.282713	5.628409	1.764756
20	6.7295	7.9218	17.6082	6.518259	7.031487	5.52778	1.734509
21	9.1489	11.843	21.2093	6.559709	6.991293	5.313622	1.804205
22	9.2175	11.3988	4.841	6.525815	7.046037	4.918889	1.952432
23	12.2427	8.4967	13.6523	6.568891	7.078728	4.89398	1.973252

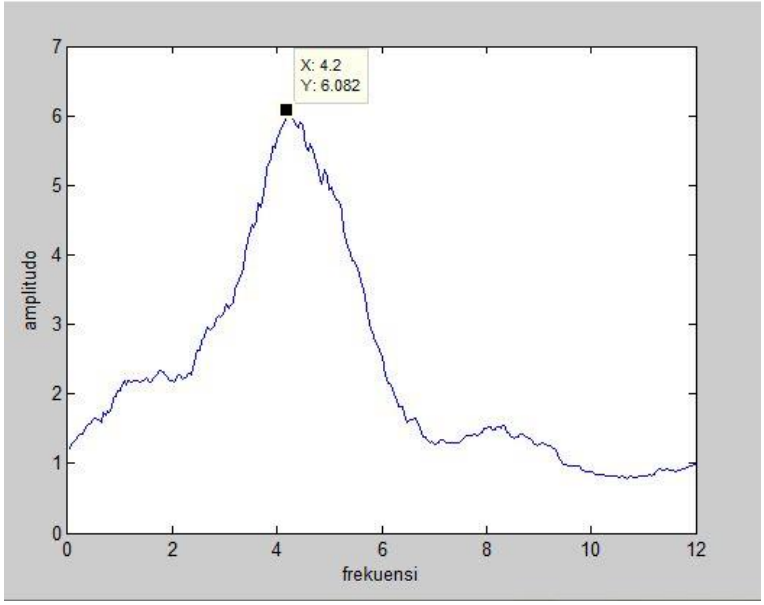
12. Untuk memperoleh grafik nilai HVSR dilakukan dengan cara *ploting* menggunakan *software* MATLAB R2010a.

13. *Copy paste* terlebih dahulu nilai HVSR ke dalam satu *file* Excel yang berbeda dan simpan dengam format HVSR.xlsx sehingga dalam satu *file* Excel hanya terdapat nilai HVSR saja.



97	5.37914
98	5.55228
99	5.52911
100	5.66273
101	5.77164
102	5.82122
103	5.89707
104	5.93049
105	6.08187
106	6.02394
107	5.97369
108	5.9326
109	5.87001
110	5.82834
111	5.91638
112	5.87491
113	5.7208
114	5.55359
115	5.48702
116	5.58925
117	5.50865
118	5.42054

14. Dengan *ploting* menggunakan *software* MATLAB R2010a maka akan didapatkan bentuk grafik sebagai berikut:



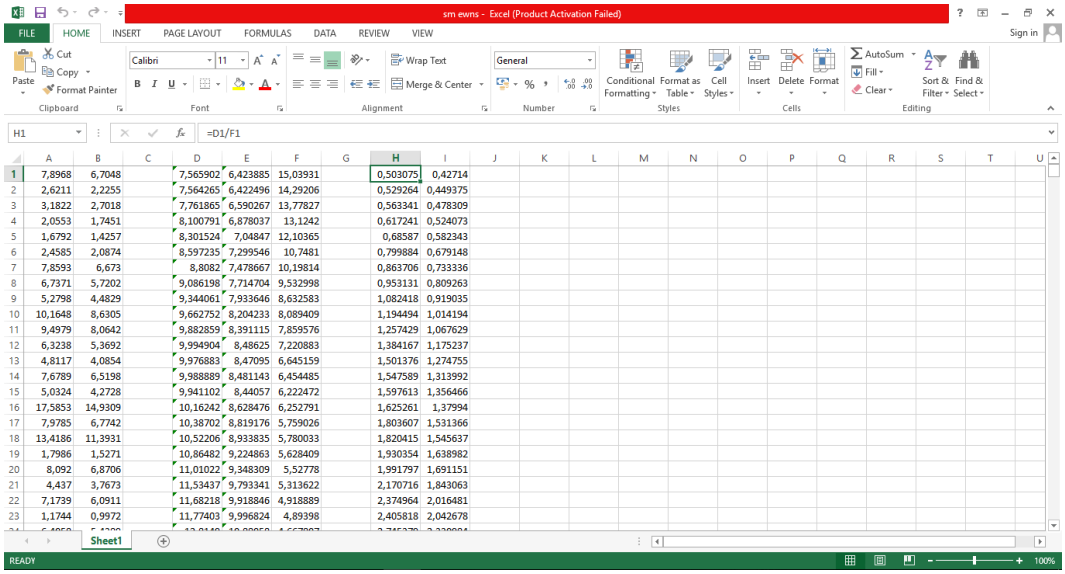
15. Dari grafik maka akan diketahui nilai amplifikasi dan nilai frekuensi predominan.

16. Proses ini dilakukan untuk semua hasil pengukuran yang dilakukan di setiap titik lokasi penelitian.

Lampiran 6 Analisis Mikrotremor untuk FSR dengan Software MATLAB R2010a.

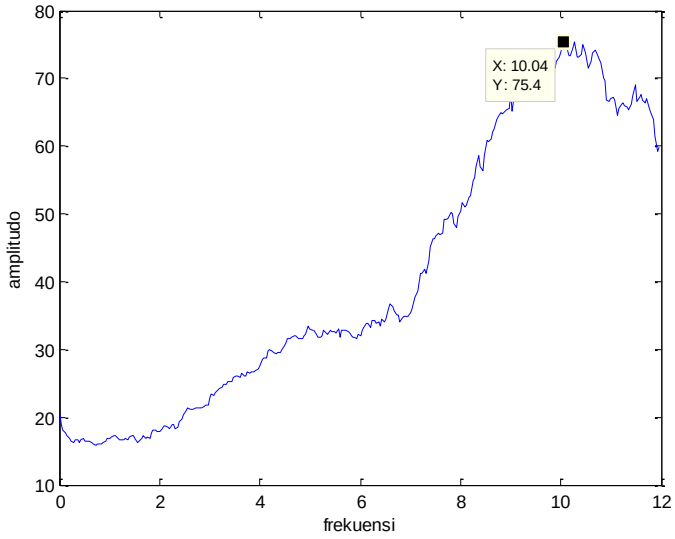
Langkah-langkah analisis mikrotremor menggunakan metode FSR dengan bantuan *software* MATLAB R2010a adalah sebagai berikut:

1. Langkah 1 -10 sama dengan analisis mikrotermor untuk HVSR dengan Software MATLAB R2010a.
2. Kemudian hitung nilai tiap komponen untuk EW dan NS dibagi dengan komponen vertikalnya



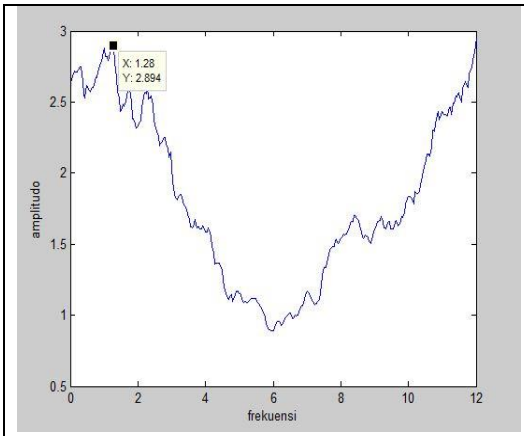
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	7,8968	6,7048		7,565902	6,423885	15,03931		0,503075	0,42714
2	2,6211	2,2255		7,564265	6,422496	14,29206		0,529264	0,449375
3	3,1822	2,7018		7,761865	6,590267	13,77827		0,563341	0,478309
4	2,0553	1,7451		8,100791	6,878037	13,1242		0,617241	0,524073
5	1,6792	1,4257		8,301524	7,04847	12,10365		0,68587	0,582343
6	2,4585	2,0874		8,597235	7,299546	10,7481		0,799884	0,679148
7	7,8593	6,673		8,8082	7,478667	10,19814		0,863706	0,733336
8	6,7371	5,7202		9,086198	7,714704	9,532998		0,953131	0,809263
9	5,2798	4,4829		9,344061	7,933646	8,632583		1,082418	0,919035
10	10,1648	8,6305		9,662752	8,204233	8,089409		1,194494	1,014194
11	9,4979	8,0642		9,882859	8,391115	7,859576		1,257429	1,067629
12	6,3238	5,3692		9,994904	8,48625	7,220883		1,384167	1,175237
13	4,8117	4,0854		9,976883	8,47095	6,645159		1,501376	1,274755
14	7,6789	6,5198		9,988889	8,481143	6,454485		1,547589	1,313992
15	5,0324	4,2728		9,941102	8,44057	6,222472		1,597613	1,356466
16	17,5853	14,9309		10,16242	8,628476	6,252791		1,625261	1,37994
17	7,9785	6,7742		10,38702	8,819176	5,759026		1,803607	1,531366
18	13,4186	11,3931		10,52206	8,933835	5,780033		1,820415	1,545637
19	1,7986	1,5271		10,86482	9,224863	5,628409		1,930354	1,638982
20	8,092	6,8706		11,01022	9,348309	5,52778		1,991797	1,691151
21	4,437	3,7673		11,53437	9,793341	5,313622		2,170716	1,843063
22	7,1739	6,0911		11,68218	9,918846	4,918889		2,374964	2,016481
23	1,1744	0,9972		11,77403	9,996824	4,89398		2,405818	2,042678

3. Untuk memperoleh grafik nilai komponen EW dan NS dilakukan dengan cara *ploting* menggunakan *software* MATLAB R2010a.
4. *Copy paste* terlebih dahulu nilai komponen EW satu *file* Excel dan komponen NS satu *file* Excel yang berbeda dan simpan dengam format plotEW.xlsx dan plotNS.xlsx
5. Dengan *ploting* masing-masing komponen EW dan NS menggunakan *software* MATLAB R2010a maka akan didapatkan bentuk grafik sebagai berikut:

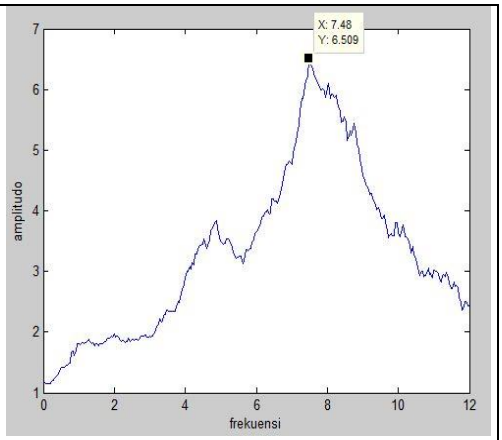


6. Dari grafik maka akan diketahui nilai amplifikasi dan nilai frekuensi dari bangunan yang diukur.
7. Proses ini dilakukan untuk semua hasil pengukuran yang dilakukan di setiap titik lokasi penelitian

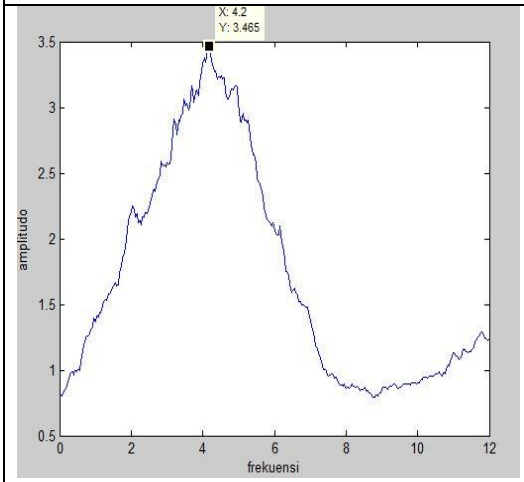
Lampiran 7. Grafik Hasil Analisis Data Mikrotremor untuk Tanah.



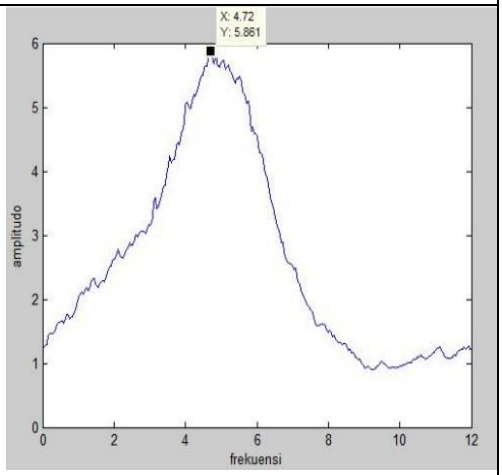
Titik 1



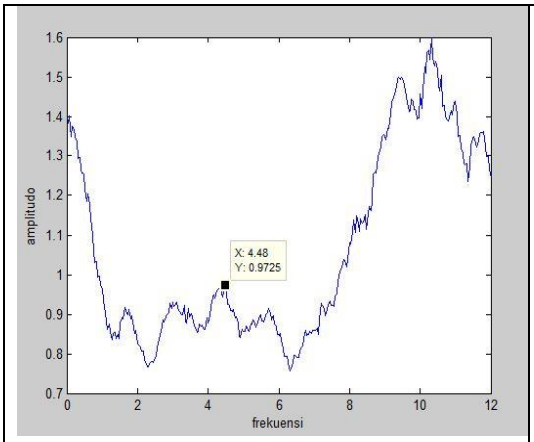
Titik 3



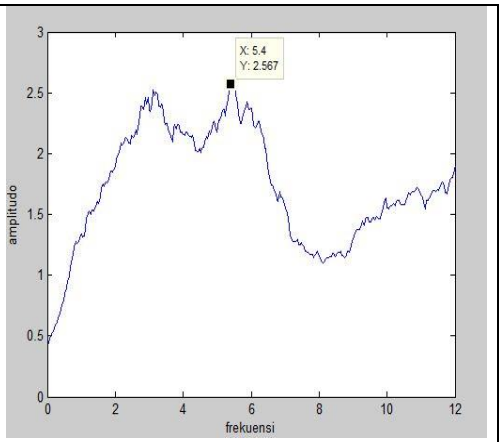
Titik 4



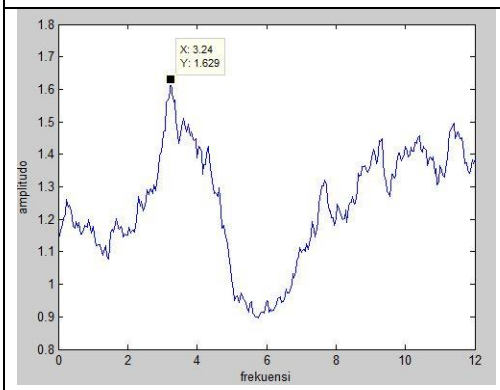
Titik 5



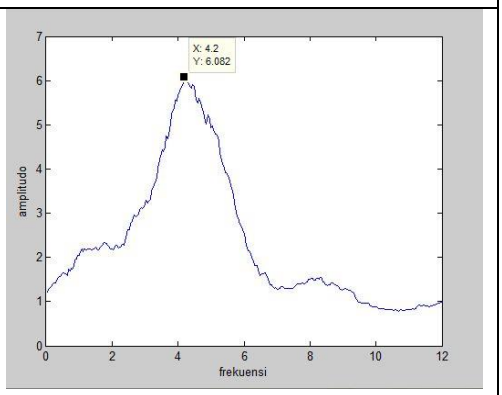
Titik 6



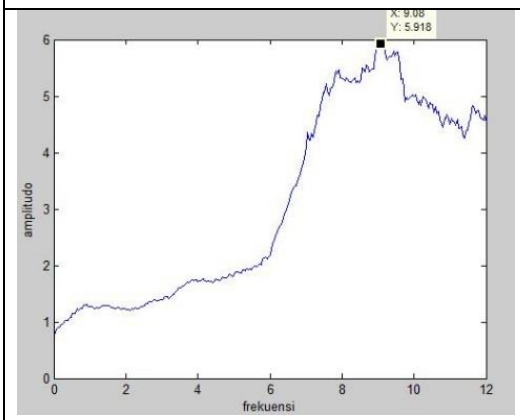
Titik 7



Titik 8

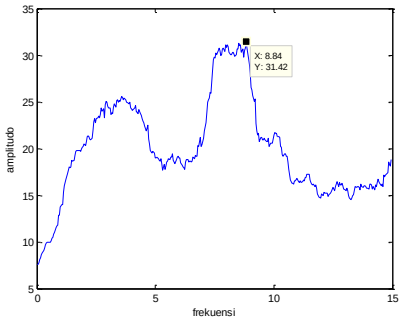
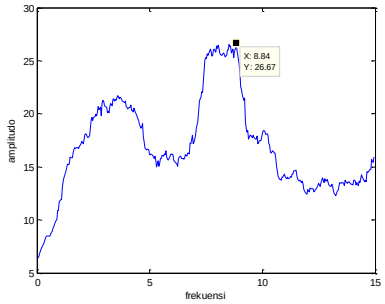
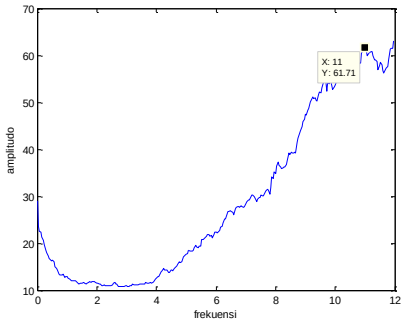
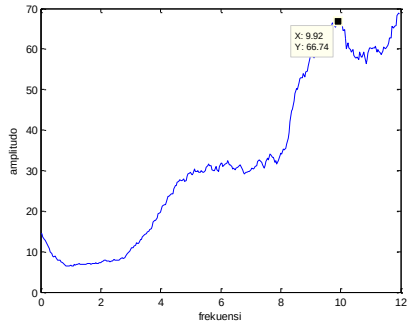
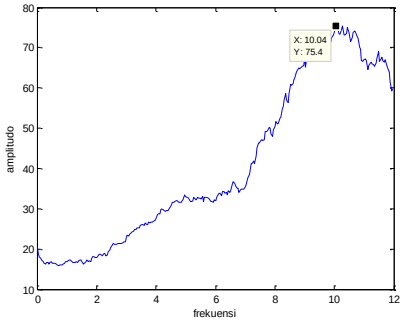
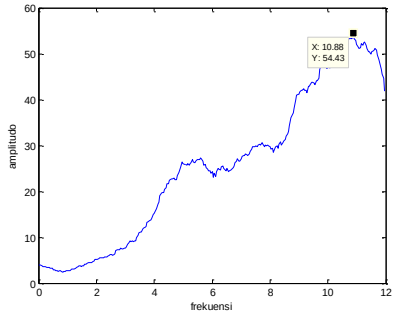


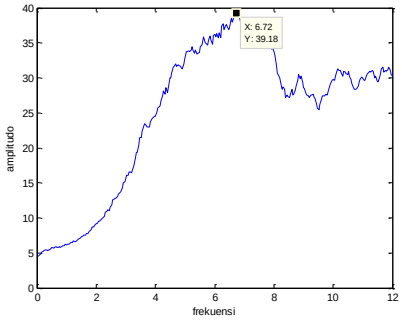
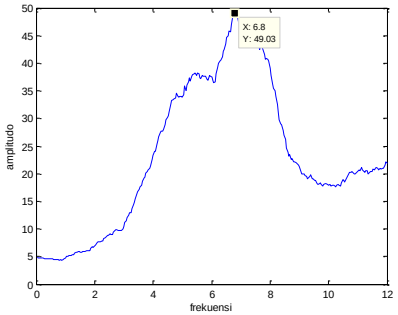
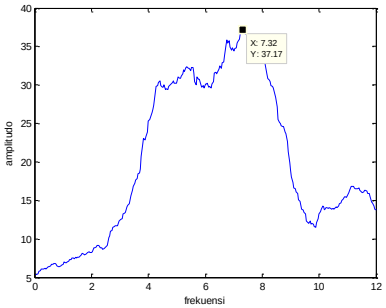
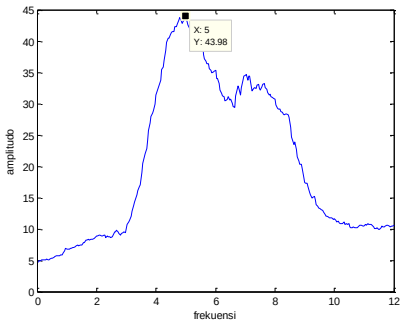
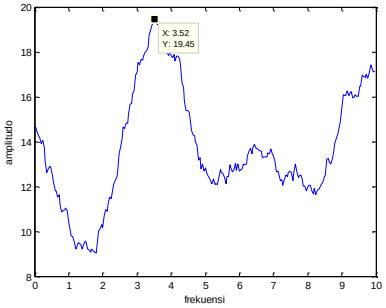
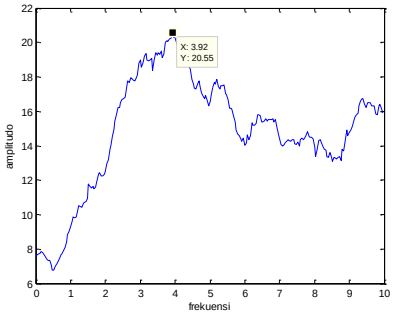
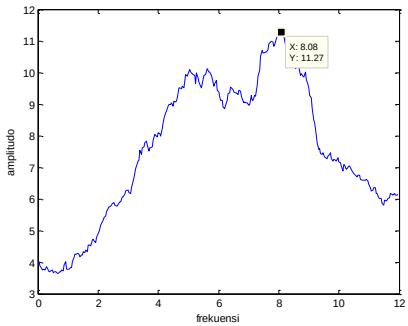
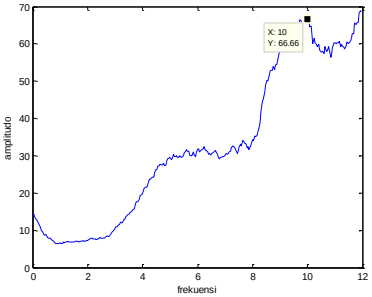
Titik 9

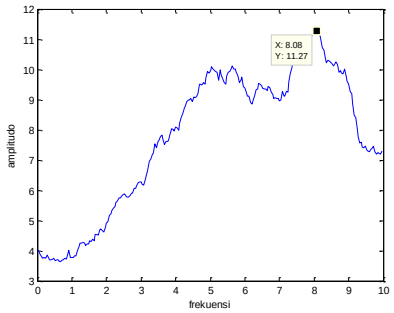
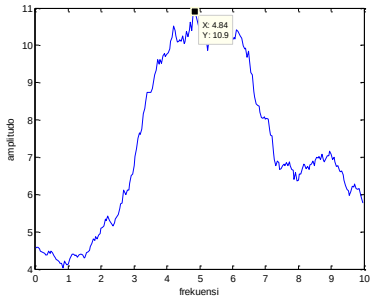
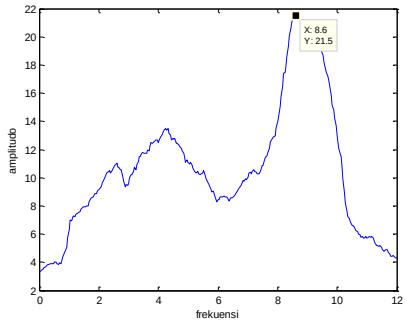
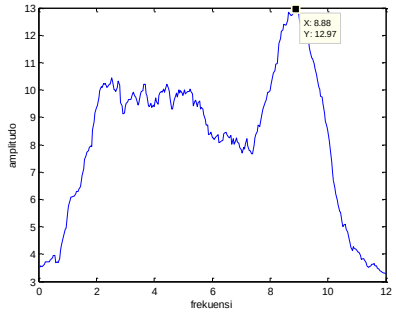
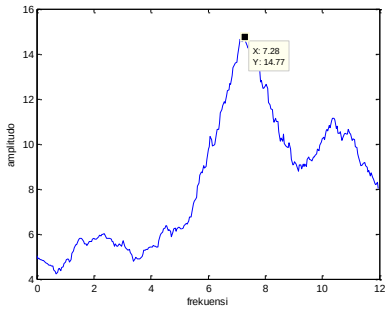
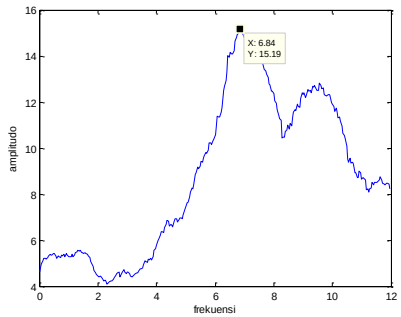


Titik 10

Lampiran 8. Grafik Hasil Analisis Data Mikrotremor untuk Bangunan.

Titik	Komponen EW	Komponen NS
1		
3		
4		

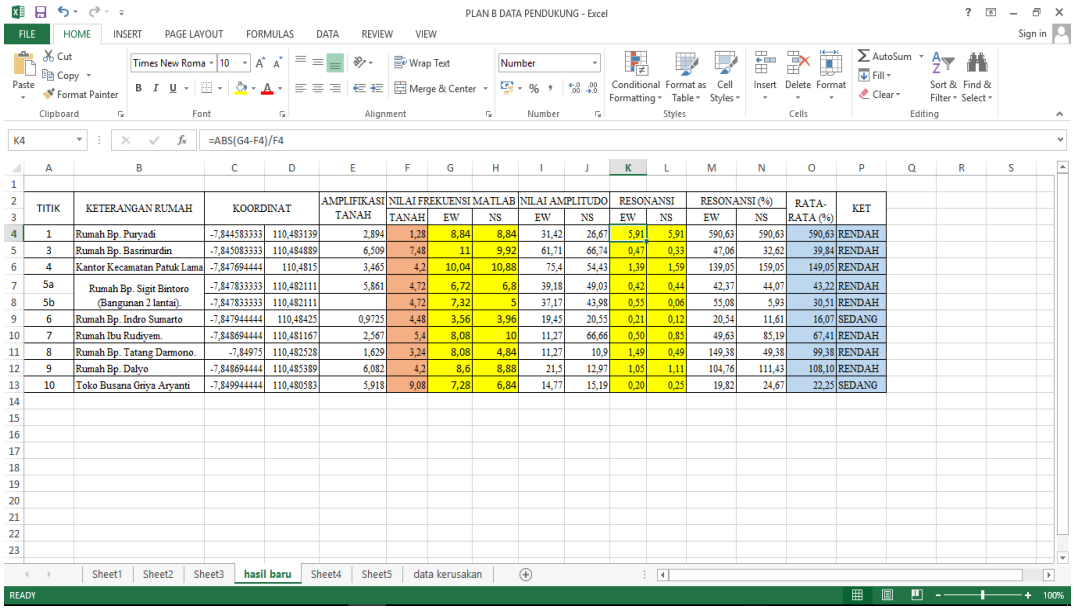
5a	 X: 6.72 Y: 39.18 amplitudo frekuensi	 X: 6.8 Y: 49.03 amplitudo frekuensi
5b	 X: 7.32 Y: 37.17 amplitudo frekuensi	 X: 5 Y: 43.98 amplitudo frekuensi
6	 X: 3.52 Y: 19.45 amplitudo frekuensi	 X: 3.92 Y: 20.55 amplitudo frekuensi
7	 X: 8.08 Y: 11.27 amplitudo frekuensi	 X: 10 Y: 66.66 amplitudo frekuensi

8	 X: 8.08 Y: 11.27 amplitudo frekuensi	 X: 4.84 Y: 10.9 amplitudo frekuensi
9	 X: 8.6 Y: 21.5 amplitudo frekuensi	 X: 8.88 Y: 12.97 amplitudo frekuensi
10	 X: 7.28 Y: 14.77 amplitudo frekuensi	 X: 6.84 Y: 15.19 amplitudo frekuensi

Lampiran 9. Perhitungan Resonansi Bangunan.

Rumus yang digunakan untuk mengitung resonansi adalah

$$R = \left|\frac{f_b - f_t}{f_t}\right| x100\%$$



K4 =ABS(G4-F4)/F4

TITIK	KETERANGAN RUMAH	KOORDINAT		AMPLIFIKASI TANAH	NILAI FREKUENSI MATLAB			NILAI AMPLITUDO		RESONANSI		RESONANSI (%)		RATA-RATA (%)	KET
					TANAH	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS		
1	Rumah Bp. Puryadi	-7,844583333	110,483139	2,894	1,28	8,84	8,84	31,42	26,67	5,91	5,91	590,63	590,63	590,63	RENDAH
3	Rumah Bp. Basrimurdin	-7,845083333	110,484889	6,509	7,48	11	9,92	61,71	66,74	0,47	0,33	47,06	32,62	39,84	RENDAH
4	Kantor Kecamatan Patuk Lama	-7,847694444	110,4815	3,465	4,2	10,04	10,88	75,4	54,43	1,39	1,59	139,05	159,05	149,05	RENDAH
5a	Rumah Bp. Sigit Bintoro	-7,847833333	110,482111	5,861	4,72	6,72	6,8	39,18	49,03	0,42	0,44	42,37	44,07	43,22	RENDAH
5b	(Bangunan 2 lantai).	-7,847833333	110,482111		4,72	7,32	5	37,17	43,98	0,55	0,06	55,08	5,93	30,51	RENDAH
6	Rumah Bp. Indro Sumarto	-7,847944444	110,48425	0,9725	4,48	3,56	3,96	19,45	20,55	0,21	0,12	20,54	11,61	16,07	SEDANG
7	Rumah Ibu Rudiyem.	-7,848694444	110,481167	2,567	5,4	8,08	10	11,27	66,66	0,50	0,85	49,63	85,19	67,41	RENDAH
8	Rumah Bp. Tatang Darmono.	-7,84975	110,482528	1,629	3,24	8,08	4,84	11,27	10,9	1,49	0,49	149,38	49,38	99,38	RENDAH
9	Rumah Bp. Dalyo	-7,848694444	110,485389	6,082	4,2	8,6	8,88	21,5	12,97	1,05	1,11	104,76	111,43	108,10	RENDAH
10	Toko Busana Griya Aryanti	-7,849944444	110,480583	5,918	9,08	7,28	6,84	14,77	15,19	0,20	0,25	19,82	24,67	22,25	SEDANG

Lampiran 10. Program FFT MATLAB R2010a *radix*-64.

```
X=xlsread('EW42.xlsx');
x=X(1:length(X));
M=length(x);
A=2500;

%window ke 1
B=x(((0*A)+1):(1*A));
C=length(B);
d=64;
f=0:C/d-1;
g=0:C-1;
h1=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d)/C)*B(d*f+1);
h2=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+1)/C)*B(d*f+2);
h3=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+2)/C)*B(d*f+3);
h4=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+3)/C)*B(d*f+4);
h5=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+4)/C)*B(d*f+5);
h6=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+5)/C)*B(d*f+6);
h7=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+6)/C)*B(d*f+7);
h8=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+7)/C)*B(d*f+8);
h9=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+8)/C)*B(d*f+9);
h10=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+9)/C)*B(d*f+10);
h11=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+10)/C)*B(d*f+11);
h12=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+11)/C)*B(d*f+12);
h13=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+12)/C)*B(d*f+13);
h14=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+13)/C)*B(d*f+14);
h15=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+14)/C)*B(d*f+15);
h16=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+15)/C)*B(d*f+16);
h17=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+16)/C)*B(d*f+17);
h18=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+17)/C)*B(d*f+18);
h19=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+18)/C)*B(d*f+19);
h20=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+19)/C)*B(d*f+20);
h21=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+20)/C)*B(d*f+21);
h22=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+21)/C)*B(d*f+22);
h23=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+22)/C)*B(d*f+23);
h24=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+23)/C)*B(d*f+24);
h25=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+24)/C)*B(d*f+25);
h26=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+25)/C)*B(d*f+26);
h27=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+26)/C)*B(d*f+27);
h28=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+27)/C)*B(d*f+28);
h29=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+28)/C)*B(d*f+29);
h30=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+29)/C)*B(d*f+30);
h31=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+30)/C)*B(d*f+31);
h32=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+31)/C)*B(d*f+32);
h33=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+32)/C)*B(d*f+33);
h34=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+33)/C)*B(d*f+34);
h35=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+34)/C)*B(d*f+35);
h36=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+35)/C)*B(d*f+36);
h37=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+36)/C)*B(d*f+37);
h38=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+37)/C)*B(d*f+38);
h39=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+38)/C)*B(d*f+39);
h40=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+39)/C)*B(d*f+40);
h41=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+40)/C)*B(d*f+41);
h42=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+41)/C)*B(d*f+42);
h43=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+42)/C)*B(d*f+43);
h44=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+43)/C)*B(d*f+44);
```

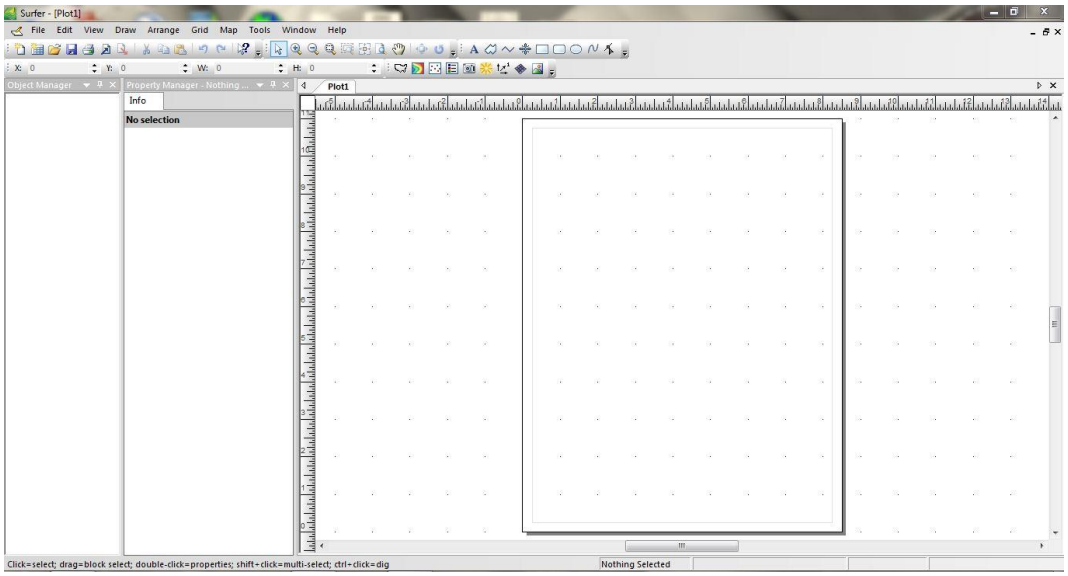
```
h45=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+44)/C)*B(d*f+45);
h46=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+45)/C)*B(d*f+46);
h47=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+46)/C)*B(d*f+47);
h48=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+47)/C)*B(d*f+48);
h49=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+48)/C)*B(d*f+49);
h50=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+49)/C)*B(d*f+50);
h51=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+50)/C)*B(d*f+51);
h52=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+51)/C)*B(d*f+52);
h53=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+52)/C)*B(d*f+53);
h54=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+53)/C)*B(d*f+54);
h55=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+54)/C)*B(d*f+55);
h56=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+55)/C)*B(d*f+56);
h57=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+56)/C)*B(d*f+57);
h58=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+57)/C)*B(d*f+58);
h59=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+58)/C)*B(d*f+59);
h60=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+59)/C)*B(d*f+60);
h61=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+60)/C)*B(d*f+61);
h62=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+61)/C)*B(d*f+62);
h63=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+62)/C)*B(d*f+63);
h64=exp(-1j*2*pi*g'*(f*d+63)/C)*B(d*f+64);

i1=h1+h2+h3+h4+h5+h6+h7+h8+h9+h10+h11+h12+h13+h14+h15+h16+h17+h18+
h19+h20+h21+h22+h23+h24+h25+h26+h27+h28+h29+h30+h31+h32+h33+h34+h3
5+h36+h37+h38+h39+h40+h41+h42+h43+h44+h45+h46+h47+h48+h49+h50+h51+
h52+h53+h54+h55+h56+h57+h58+h59+h60+h61+h62+h63+h64;
z1=abs(i1)/C;


%window ke 2
...........
%window ke 3
...........
%window ke n
.........
total=h1+h2+h3+…+h(n);
rata2=total/jumlah window
```

Program untuk ploting nilai HVSR dan FSR

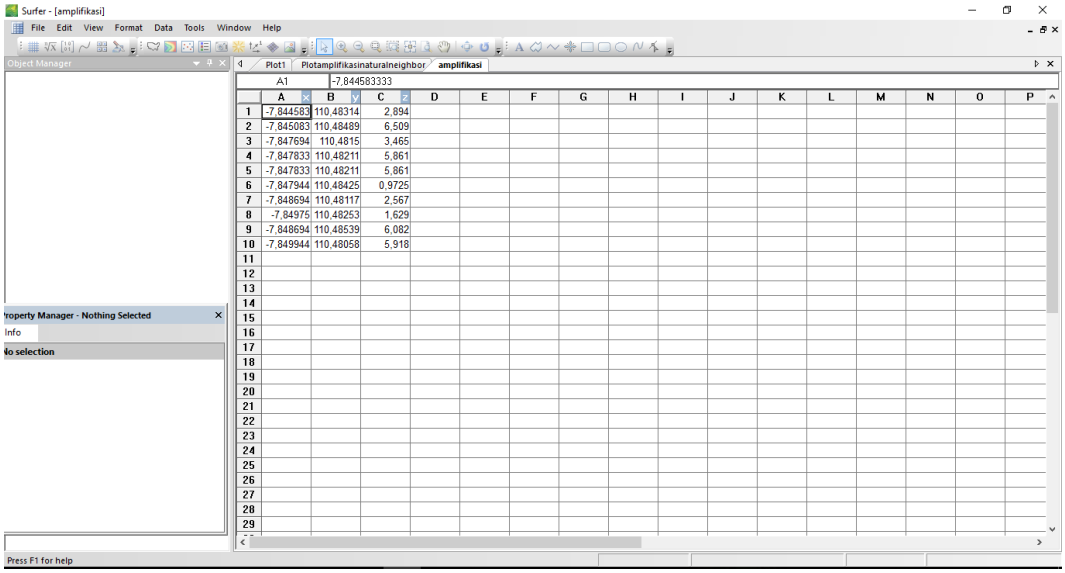
```
Y=xlsread('plotEW.xlsx');
X=Y(1:length(Y));
A=2500;
dt=1/100;
T=A*dt;
p=0:A-1;
f=p*1/T;
plot(f(1:300),X(1:300))
xlabel('frekuensi');
ylabel('amplitudo');
```

Lampiran 11. Mikrozonasi

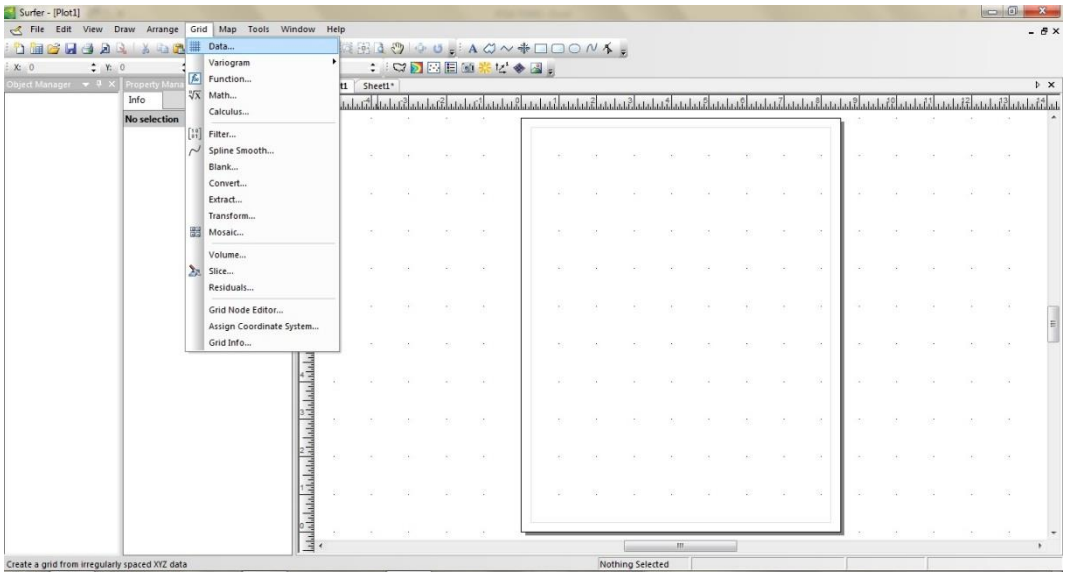
1. Buka *software* Surfer 10, maka akan muncul:



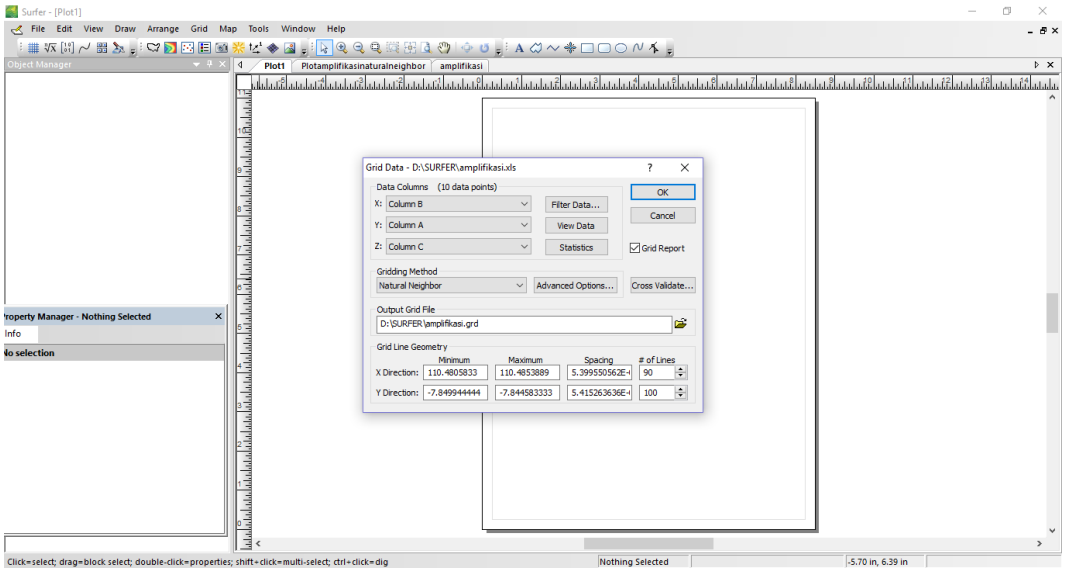
2. Buka *icon* New Worksheet pada bagian pojok kiri atas, kemudian masukkan koordinat lintang pada kolom A, koordinat bujur pada kolom B, dan data yang akan dibuat peta pemodelannya pada kolom C. Lalu klik *Save* beri nama kemudian pada *Save as type* pilih *XLS Excel Spreadsheet* kemudian *Save*.



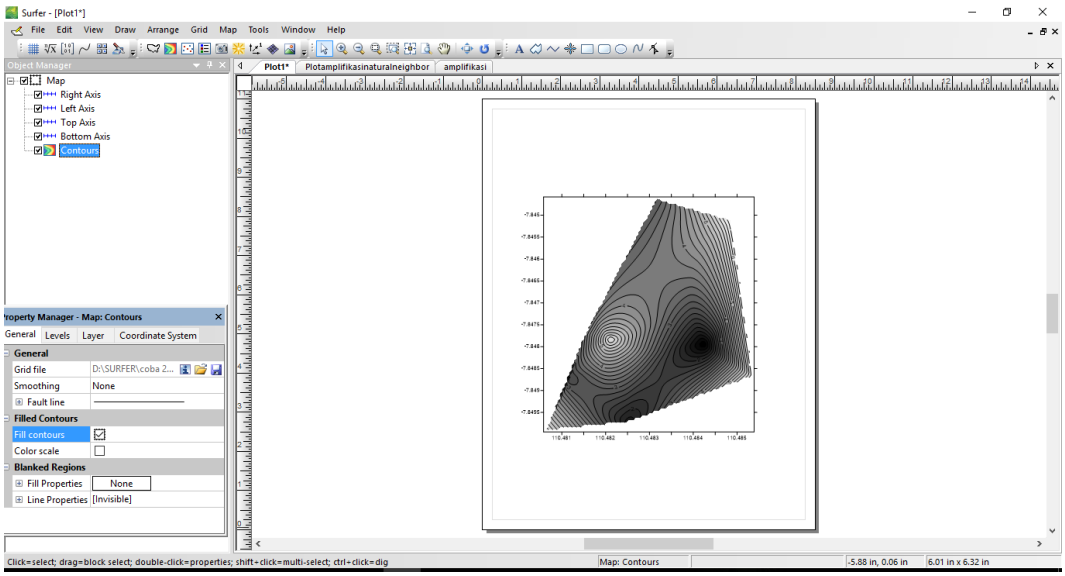
3. Buka *icon* New Plot seperti pada tampilan awal. Kemudian klik *icon* Grid pada barisan *toolbar*, pilih *data* kemudian cari data dengan format *excel worksheet* (.xls) yang telah disimpan. Klik *Open* lalu *Ok*.



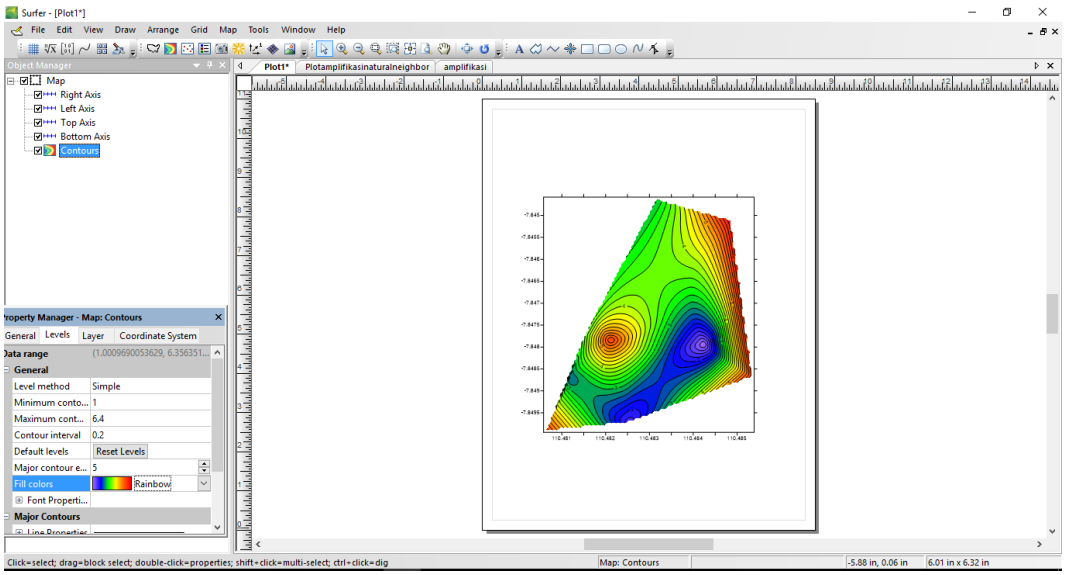
4. Selanjutnya akan muncul jendela Grid Data pada *Data Columns* X dipilih *Column* B dan Y dipilih *Column* A lalu pada *Gridding Method* pilih *Natural Neighbor* lalu *Save Gridding Report*.



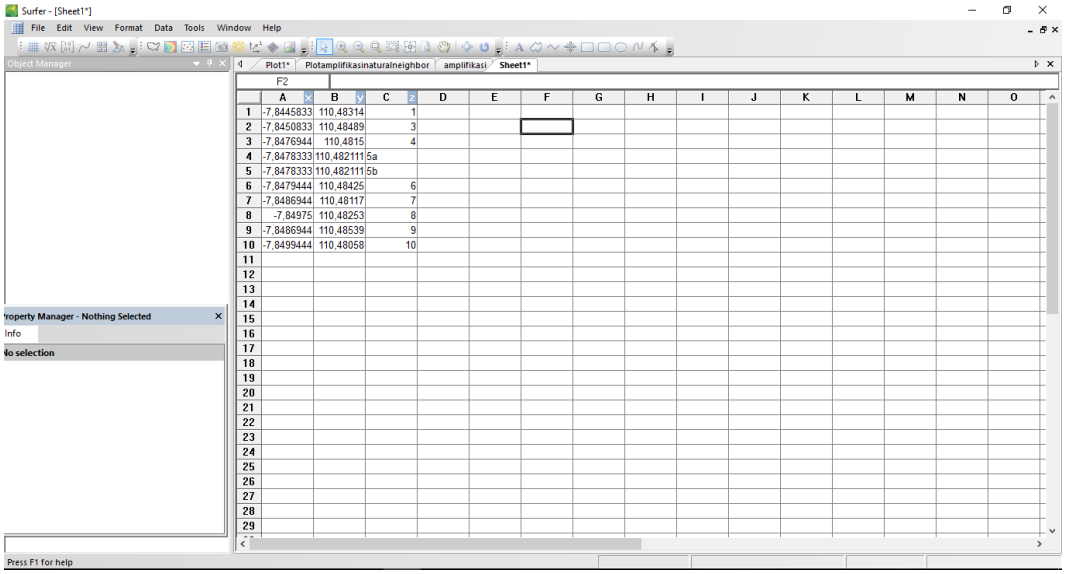
5. Pilih *icon* Map pada barisan *toolbar*, pilih *New* kemudian klik *Contour Map* untuk pemetaan, pilih file kemudian *Open*. Kemudian akan muncul hasil pemetaan seperti berikut.



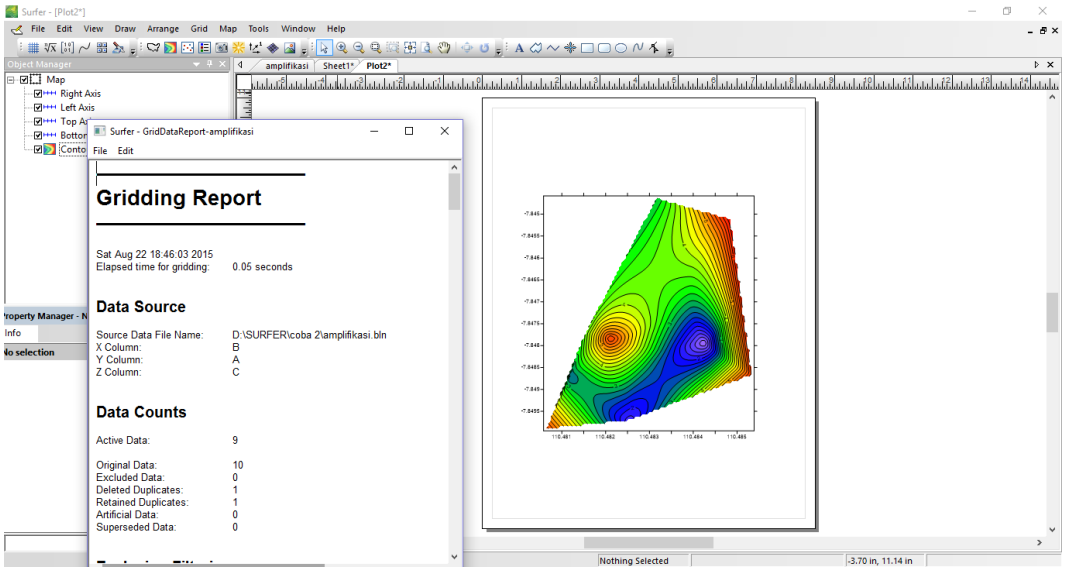
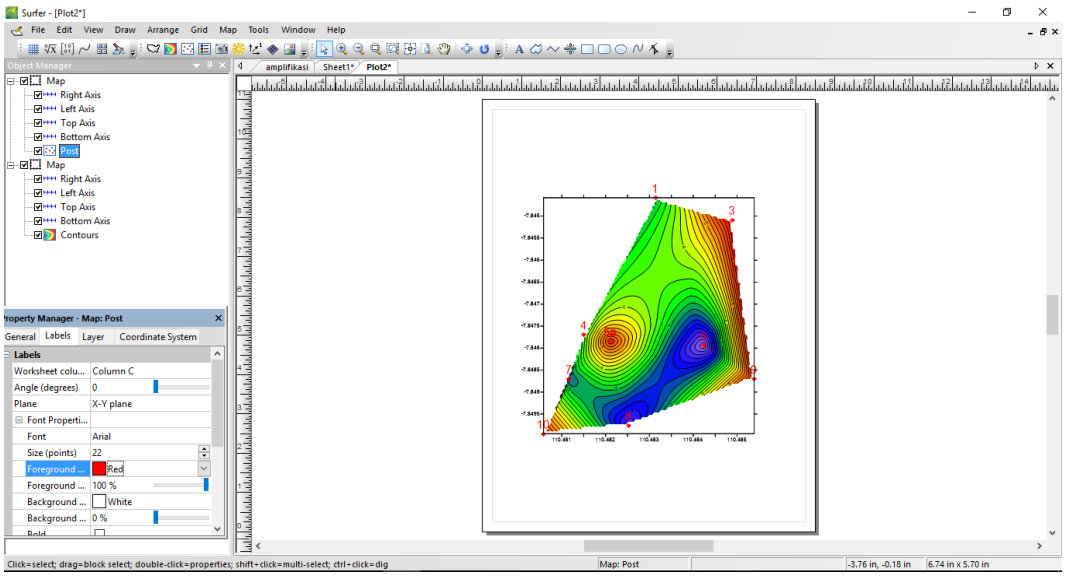
6. Cara memberi warna dengan klik 2 kali pada *icon* Contour, maka akan muncul jendela *Property Manager*. Pilih kolom *General*, pilih *Filled contours* dan *Color scale*. Untuk memilih warna kontur pilih *Levels* kemudian pilih *fill colors*, misalnya pola warna Rainbow.



7. Untuk menampilkan label titik pengukuran, buka *icon* New Worksheet pada bagian pojok kiri atas, kemudian masukkan koordinat lintang pada kolom A, koordinat bujur pada kolom B, dan nama titik pengukuran pada kolom C. Lalu klik *Save* beri nama kemudian pada *Save as type* pilih *TXT Text Data* kemudian save.



8. Buka *icon* New Plot seperti pada tampilan awal. Kemudian klik *icon* Grid pada barisan *toolbar*, pilih *data* kemudian cari data dengan format data text (.txt) yang telah disimpan. Klik *Open* lalu *Ok*. Selanjutnya akan muncul jendela Grid Data pada *Data Columns* X dipilih *Column* B dan Y dipilih *Column* A lalu pada *Gridding Method* pilih *Natural Neighbor* lalu *Save Gridding Report*.



9. Klik *icon* New Post Map pada barisan *toolbar*, lalu buka data titik yang telah tersimpan dalam format data text. Cara memberi label dengan klik 2 kali pada *icon* Post, maka akan muncul jendela *Property Manager*. Pilih kolom *Labels* pilih *Columns* C pada *Worksheet columns*. Untuk memilih warna dan jenis *font* pada *Font Properties*, maka akan muncul: